

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材



机械制图

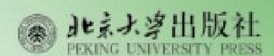


主　编　臧福伦
杨晓冬
李会杰

采用最新制图标准，时效性强
强化识图能力训练，夯实基础
适应实际工作需要，突出应用

附配套习题集





北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

机械制图

主　编　臧福伦
杨晓冬
李会杰



内容简介

本书根据教育部2005年修订的《普通高等学校工程图学课程教学基本要求》、《画法几何及机械制图课程教学基本要求》及近年来新发布的国家标准，针对应用型人才培养的具体情况，参考国内外相关教材，坚持继承与创新的结合，全面考虑近几年教学发展情况并参考老师及学生在教学过程中反馈的意见与建议编制而成，由主教材和配套习题集组成。主教材内容包括绪论、制图基本知识与技能、几何元素的投影、基本立体及其表面的交线、轴测投影、组合体的视图、机件的表达方法、标准件和常用件、零件图、装配图和附录。习题集按照主教材章节的设置安排作图练习，供学生选用。

本书可作为普通高等学校工科本科机械制图课程的教材，也可供其他相关专业选用，还可供相关技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制图/臧福伦，杨晓冬，李会杰主编．—北京：北京大学出版社，2013.8
(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)
ISBN 978-7-301-22896-8

Ⅰ．①机… Ⅱ．①臧…②杨…③李… Ⅲ．①机械制图—高等学校—教材 Ⅳ．①TH126

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第169115号

书　　名：机械制图
著作责任者：臧福伦　杨晓冬　李会杰　主编
策 划 编 辑：童君鑫
责 任 编 辑：黄红珍
标 准 书 号：ISBN 978-7-301-22896-8/TH・0359
出 版 发 行：北京大学出版社
地　　址：北京市海淀区成府路205号　100871
网　　址：http://www.pup.cn　新浪官方微博：@北京大学出版社
电 子 信 箱：pup_6@163.com
电　　话：邮购部62752015　发行部62750672　编辑部62750667　出版部62754962
印　刷　者：
经　销　者：新华书店
787毫米×1092毫米　16开本　33.5印张　550千字
2013年8月第1版　2013年8月第1次印刷
定　　价：60.00元

前　　言

本书是根据教育部2005年修订的《普通高等学校工程图学课程教学基本要求》、《画法几何及机械制图课程教学基本要求》和最新颁布的有关国家标准，针对社会的发展和不同行业的需求，结合独立学院的培养目标和编者多年的教学经验编写而成的，由主教材和配套习题集组成。

为加强学生动手能力的培养，瞄准市场对人才的需要，结合独立学院生源特点和办学特色，本书在内容体系完整、科学的前提下具有以下特点。

1. 适当删减了画法几何中部分综合图解和曲线曲面内容，并降低了立体表面交线的求解难度，加强图示能力的培养以提高学生的绘图技能。

2. 加强组合体内容，增加典型图例的详细分析，强化识图能力的训练，为培养空间构型、想象能力打下坚实基础。

3. 充实徒手绘图能力，更有效地适应实际工作需要，有利于培养现场测绘设计、构思的技能。

4. 丰富零件上常见工艺结构及尺寸标注，结合零件的成型工艺过程阐述零件的结构和功能进而增加学生的工艺常识。

5. 本书体系编排合理、内容准确，文字精练、逻辑性强，图文搭配合理，能用图说明白的问题不再用文字叙述。

本书全部采用我国最新颁布的技术制图与机械制图国家标准及与制图有关的其他标准，并根据课程内容的需要分别编排在各章节或附录中，以培养学生贯彻国家标准的意识和查阅国家标准的能力。

本书可作为普通高等学校相关专业机械制图课程的教材，也可作为其他相关人员的参考用书。

主教材由臧福伦、杨晓东和李会杰主编并统稿，刘铁军、马琳、荆强为副主编，由吉林省工程学会理事长侯洪生教授任主审。习题集由李会杰、臧福伦和马琳主编，杨晓东、刘铁军、荆强为副主编。具体编写工作分配如下：李会杰编写第1章和第2章，刘铁军编写第3章和第6章，马琳编写第4章，臧福伦编写第5章和第10章，杨晓冬编写第7章和第9章，荆强编写第8章和附录。

本书在编写过程中吸取了兄弟院校教材的编写经验及图例，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编　者

2013年3月

目　　录

绪论 …… 1

第 1 章　点、直线、平面的投影 …… 3

1.1　投影法的基本知识 …… 3

1.1.1　投影法的概念 …… 3

1.1.2　投影法的分类 …… 3

1.2　点的投影 …… 4

1.2.1　点在两投影面体系中的投影 …… 4

1.2.2　点在三投影面体系中的投影 …… 5

1.3　直线的投影 …… 9

1.3.1　直线及直线上点的投影特性 …… 9

1.3.2　直线对投影面的各种相对位置 …… 10

1.3.3　两直线的相对位置 …… 13

1.3.4　用直角三角形法求直线的实长及其对投影面的倾角 …… 16

1.3.5　直角投影定理 …… 17

1.4　平面的投影 …… 18

1.4.1　平面的表示法 …… 18

1.4.2　平面对投影面的各种相对位置 …… 19

1.4.3　平面上的点和直线 …… 23

复习思考题 …… 26

第 2 章　直线和平面的相对位置及换面法 …… 27

2.1　直线与平面平行、平面与平面平行 …… 27

2.1.1　直线与平面平行 …… 27

2.1.2　平面与平面平行 …… 28

2.2　直线与平面相交、平面与平面相交 …… 29

2.2.1　特殊位置平面与一般位置直线相交 …… 29

2.2.2　特殊位置直线与一般位置平面相交 …… 30

2.2.3　特殊位置平面与一般位置平面相交 …… 31

2.2.4　一般位置直线与一般位置平面相交 …… 32

2.2.5　一般位置平面与一般位置平面相交 …… 33

2.3　直线与平面垂直、平面与平面垂直 …… 34

2.3.1　直线与平面垂直 …… 34

2.3.2　平面与平面垂直 …… 36

2.4　换面法 …… 37

2.4.1　换面法的基本概念 …… 37

2.4.2　点的投影变换规律 …… 38

2.4.3　四个基本问题 …… 40

2.4.4　换面法的应用 …… 43

复习思考题 …… 45

第 3 章　立体的投影 …… 47

3.1　立体及其表面上的点与线 …… 47

3.1.1　平面立体 …… 47

3.1.2　曲面立体 …… 51

3.2　平面与平面立体表面相交 …… 56

3.2.1　平面立体的截交线 …… 56

3.2.2　平面立体的切割与穿孔 …… 58

3.3　平面与回转体表面相交 …… 59

3.3.1　平面与圆柱相交 …… 59

3.3.2　平面与圆锥相交 …… 61

3.3.3　平面与球相交 …… 66

3.4　两回转体表面相交 …… 69

3.4.1　利用积聚性 …… 69

3.4.2　辅助平面法 …… 74

3.4.3 相贯线的特殊情况 ········ 79
复习思考题 ········ 80

第 4 章 制图的基本知识 ········ 81

4.1 国家标准的有关规定 ········ 81
4.1.1 图纸幅面及格式和标题栏 ········ 81
4.1.2 比例 ········ 83
4.1.3 字体 ········ 84
4.1.4 图线及其画法 ········ 85
4.1.5 尺寸注法 ········ 87
4.2 几何作图的画法 ········ 92
4.2.1 正多边形 ········ 92
4.2.2 斜度和锥度 ········ 93
4.2.3 圆弧连接 ········ 93
4.3 平面图形的尺寸注法和线段分析 ········ 95
4.3.1 平面图形的尺寸分析 ········ 95
4.3.2 平面图形的线段分析 ········ 95
4.3.3 平面图形的画图步骤 ········ 95
4.3.4 平面图形的尺寸注法 ········ 96
4.4 绘图的方法和步骤 ········ 97
4.4.1 绘图工具和仪器的使用方法 ········ 97
4.4.2 仪器绘图的方法和步骤 ········ 99
4.4.3 徒手绘草图的方法 ········ 99
复习思考题 ········ 101

第 5 章 组合体的视图与尺寸注法 ········ 102

5.1 组合体的组合形式和组合体三视图 ········ 102
5.1.1 组合体的组合形式 ········ 102
5.1.2 组合体三视图的形成及其规律 ········ 102
5.2 组合体三视图的画法 ········ 104
5.2.1 组合体上相邻表面之间的连接关系 ········ 104
5.2.2 画组合体视图的方法与步骤 ········ 108
5.3 组合体视图的识读 ········ 111
5.3.1 读图的基本要领 ········ 112
5.3.2 读图的基本方法 ········ 114
5.4 组合体的尺寸标注 ········ 121
5.4.1 基本体的尺寸标注 ········ 122
5.4.2 组合体的尺寸分析 ········ 123
5.4.3 标注组合体尺寸的方法与步骤 ········ 124
复习思考题 ········ 126

第 6 章 轴测图 ········ 127

6.1 轴测图的基本知识 ········ 128
6.1.1 轴测图的形成 ········ 128
6.1.2 轴向伸缩系数和轴间角 ········ 128
6.1.3 轴测图的分类 ········ 128
6.2 正等轴测图 ········ 129
6.2.1 轴间角和各轴向的简化系数 ········ 129
6.2.2 平行于坐标面的圆的正等轴测图 ········ 129
6.2.3 正等轴测图画法举例 ········ 131
6.3 斜二轴测图 ········ 135
6.3.1 轴间角和各轴向伸缩系数 ········ 135
6.3.2 平行于坐标面的圆的斜二轴测图 ········ 136
6.3.3 斜二轴测图画法举例 ········ 136
复习思考题 ········ 138

第 7 章 机件的表达方法 ········ 139

7.1 视图 ········ 139
7.1.1 基本视图及其配置 ········ 139
7.1.2 向视图 ········ 141
7.1.3 斜视图 ········ 141
7.1.4 局部视图 ········ 142
7.2 剖视图 ········ 143
7.2.1 剖视图的概念和基本画法 ········ 143
7.2.2 剖视图的种类 ········ 145
7.2.3 剖切面的种类及剖切方法 ········ 149
7.3 断面图 ········ 152

7.3.1 断面图的基本概念 …… 152
7.3.2 断面图的种类 ………… 153
7.4 局部放大图、简化画法和其他规定画法 ……………………… 155
7.4.1 局部放大图 ………… 155
7.4.2 简化画法和其他规定画法 ……………………… 155
7.5 综合应用举例 ……………… 159
复习思考题 ……………………… 160

第8章 标准件和常用件 …………… 161

8.1 螺纹 ………………………… 161
8.1.1 螺纹的形成和要素 …… 161
8.1.2 螺纹的规定画法 ……… 163
8.1.3 常用螺纹的种类和标注 ……………………… 165
8.2 螺纹紧固件 ………………… 168
8.2.1 螺栓连接 ……………… 169
8.2.2 螺钉连接 ……………… 170
8.2.3 螺柱连接 ……………… 170
8.2.4 螺纹紧固件的比例画法 ……………………… 171
8.3 键、销、滚动轴承 ………… 172
8.3.1 键连接 ………………… 172
8.3.2 销连接 ………………… 174
8.3.3 滚动轴承 ……………… 175
8.4 齿轮 ………………………… 178
8.4.1 标准直齿圆柱齿轮的基本参数和基本尺寸间的关系 ……………………… 178
8.4.2 圆柱齿轮的规定画法 …… 180
8.5 弹簧 ………………………… 182
8.5.1 圆柱螺旋压缩弹簧的规定画法 ………………… 182
8.5.2 圆柱螺旋压缩弹簧各部分名称及尺寸关系 ……… 183
8.5.3 螺旋压缩弹簧画法举例 ……………………… 184
8.5.4 螺旋压缩弹簧零件图示例 ……………………… 184
复习思考题 ……………………… 185

第9章 零件图 …………………… 186

9.1 零件图的内容 ……………… 186
9.2 零件结构的工艺性简介 ………… 187
9.2.1 铸造零件的工艺结构 …… 187
9.2.2 零件上的机械加工工艺结构 ………………… 189
9.3 零件图的视图选择和尺寸标注 … 190
9.3.1 零件图的视图选择 …… 190
9.3.2 零件图的尺寸标注 …… 191
9.3.3 零件上常见结构的尺寸注法 ……………………… 194
9.3.4 典型零件的视图选择和尺寸标注示例 ………… 195
9.4 零件图中的技术要求 ……… 199
9.4.1 零件的表面结构 ……… 200
9.4.2 极限与配合 …………… 207
9.4.3 几何公差简介 ………… 214
9.5 零件图的识读 ……………… 216
9.5.1 零件图识读的方法和步骤 ……………………… 216
9.5.2 零件图识读举例 ……… 217
9.6 零件测绘 …………………… 219
9.6.1 零件测绘的方法和步骤 … 219
9.6.2 常用的测量工具及测量方法 ………………… 220
复习思考题 ……………………… 220

第10章 装配图 …………………… 222

10.1 装配图的内容和视图表达方法 ………………… 222
10.1.1 装配图的内容 ………… 222
10.1.2 装配图的表示方法 …… 224
10.2 装配图的尺寸标注及零件序号、明细栏 ……………………… 225
10.2.1 装配图的尺寸标注 …… 225
10.2.2 装配图中零件序号和明细栏 ………………… 225
10.3 装配结构的合理性简介 ……… 226
10.3.1 接触面与配合面的结构 ………………… 226

10.3.2　拆装方便的合理性 …… 227
10.3.3　防漏的结构 …… 228
10.4　部件的测绘 …… 229
10.5　根据零件图画装配图 …… 233
10.6　装配图的识读 …… 238
10.6.1　装配图识读的方法和步骤 …… 238
10.6.2　装配图识读举例 …… 239
10.7　根据装配图拆画零件图 …… 243
10.7.1　对拆画零件图的要求 …… 243
10.7.2　拆画零件图要注意的问题 …… 244
10.7.3　拆画零件图举例 …… 245
复习思考题 …… 249
附录 …… 250
附录1　螺纹 …… 250
附录2　标准件 …… 252
附录3　极限与配合(摘自GB/T 1800.2—2009) …… 263
附录4　常见标准结构 …… 266
附录5　常用材料及热处理 …… 268
参考文献 …… 272



第 1 章 点、直线、平面的投影

1.1 投影法的基本知识

1.1.1 投影法的概念

空间物体在光线照射时，在特定的面上就会出现物体的影像，人类经过科学的总结这一自然现象并抽象归纳出影像和物体之间的几何关系形成了投影法，即投射线通过物体向选定的面投射，并在该面上得到图形的方法，称为投影法。

如图 1.1 所示，建立平面 P 和不在该平面内的一点 S，平面 P 称为投影面，点 S 称为投射中心；过投射中心 S 且通过$\triangle ABC$ 上任一点 A 作直线 SA 称为投射线；投射线 SA 与投影面 P 的交点 a 称为点 A 在投影面上的投影。同理可作出 B、C 两点在投影面 P 上的投影 b、c 和$\triangle ABC$ 的投影$\triangle abc$，也可作出一个物体在投影面上的投影。

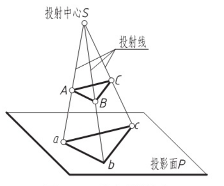


图 1.1 中心投影法

1.1.2 投影法的分类

投影法分为两类：中心投影法和平行投影法。

1. 中心投影法

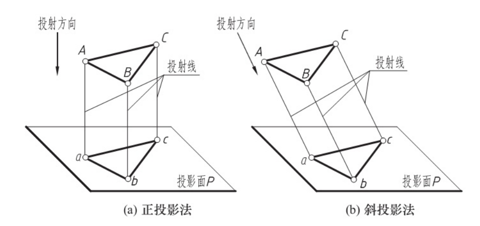
如图 1.1 所示，投射中心位于有限远处，投射线汇交于一点的投影法，称为中心投影法，所得的投影称为中心投影或透视图。

中心投影法通常用来绘制建筑物或产品的富有逼真感的立体图。

2. 平行投影法

如图 1.2 所示，若投射中心位于无限远处，则投射线 Aa、Bb、Cc 按给定的方向互相平行，分别与投影面 P 交出点 A、B、C 的投影 a、b、c，$\triangle abc$ 是$\triangle ABC$ 在投影面 P 上

的投影。这种投射线相互平行的投影法称为平行投影法，所得的投影称为平行投影。



(a) 正投影法　　(b) 斜投影法

图 1.2　平行投影法

平行投影法又分为正投影法和斜投影法。如图 1.2(a)所示，正投影法是投射线与投影面相互垂直的平行投影法，所得投影称为正投影或正投影图；如图 1.2(b)所示，斜投影法是投射线与投影面相互倾斜的平行投影法，所得的投影称为斜投影或斜投影图。

由于正投影法作图简单且度量性好，工程图样主要采用正投影，本书将正投影简称为投影。

1.2　点的投影

点是构成几何体的最基本元素，因此研究物体的投影时，通常从点开始。

如图 1.3 所示，过空间点 A 向投影面 P 作垂线，与平面 P 的交点 a 即为空间点 A 在投影面 P 上的投影。可以看到，空间有一点，则在投影面 P 上会得到唯一的一个投影。反之，若投影面 P 上有一个投影，空间点的位置却不能唯一确定。因此，在工程上常将几何形体放置在相互垂直的两个或更多的投影面之间，分别向这些投影面作投影，形成多面正投影。

通常空间元素用大写字母表示，投影用小写字母表示。

1.2.1　点在两投影面体系中的投影

1. 两投影面体系的建立

如图 1.4 所示，设立互相垂直的正立投影面(用 V 表示)和水平投影面(用 H 表示)，组

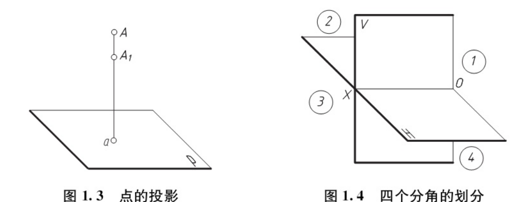


图 1.3　点的投影　　**图 1.4　四个分角的划分**

成两投影面体系。V 面与 H 面相交于投影轴 OX（投影面的交线），将空间划分为四个分角：第一分角、第二分角、第三分角和第四分角。本书着重讲述在第一分角中的几何形体的投影。

2. 点在两投影面体系中的投影及投影规律

如图 1.5(a)所示，在 V 面和 H 面之间有一空间点 A，过点 A 分别向 H 面和 V 面作垂线，得垂足 a 和 a'，则 a 称为点 A 的水平投影，a' 称为点 A 的正面投影。

过 a、a' 分别作投影轴 OX 的垂线，得交点 a_X，则 Aaa_Xa' 为矩形(如图 1.5(a)所示)，$aa_X = Aa'$(即空间点 A 到 V 面的距离)，$a'a_X = Aa$(即空间点 A 到 H 面的距离)。

规定 V 面不动，将 H 面绕 OX 轴向下旋转 90°，使 H 面、V 面展开成同一个平面，如图 1.5(b)所示。因为在同一平面上，过 OX 轴上的点 a_X 只能作 OX 轴的一条垂线，所以点 a'、a_X、a 共线，即 $aa' \perp OX$。点在互相垂直的投影面上的投影，在投影面展成同一平面后的连线，称为投影连线。

如图 1.5(c)所示，为点 A 的两面投影图。实际画图时，不必画出投影面的边框和交点 a_X。

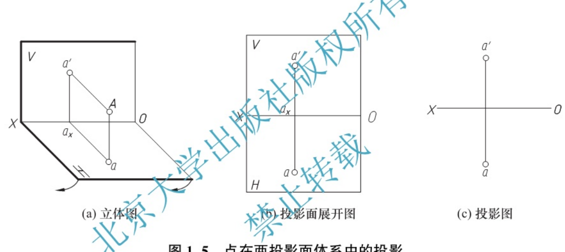


图 1.5　点在两投影面体系中的投影

由此可得出点的两面投影规律：

(1) 点的正面投影和水平投影的连线垂直于 OX 轴，即 $aa' \perp OX$。

(2) 点的正面投影到 OX 轴的距离，反映空间点到 H 面的距离；点的水平投影到 OX 轴的距离，反映空间点到 V 面的距离，即 $a'a_X = Aa$，$aa_X = Aa'$。

如图 1.5(c)所示，空间点 A 的两面投影 a'、a 能唯一地确定该点的空间位置。因为将 H 面绕 OX 轴向上转 90°，使其恢复到水平位置，这样过 a、a' 分别作 H 面、V 面的垂线，必交于一点，即为空间点 A 的唯一位置。

1.2.2　点在三投影面体系中的投影

虽然点的两面投影能唯一确定该点的位置，但有时为了更清晰地表达一些复杂的几何形体，需要三个投影面的投影，甚至更多投影面的投影。

1. 三投影面体系的建立

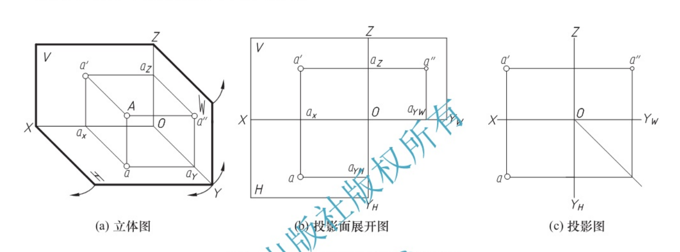
三投影面体系是在两投影面体系的基础上建立起来的，如图 1.6(a)所示，再设立一个与 V、H 面都垂直的侧立投影面(用 W 表示)。交线 OX、OY、OZ 统称为投影轴。

2. 点在三投影面体系中的投影及投影规律

设空间有一点 A 处于 V 面、H 面、W 面之间，过点 A 分别向 V 面、H 面、W 面作垂线得垂足 a'、a、a''即为点 A 的正面、水平和侧面投影。

如图 1.6(a)所示，过 a'、a、a''分别作 OX、OY、OZ 轴的垂线得交点 a_X、a_Y、a_Z，构成一个长方体 $Aa a_X a' a_Z a'' a_Y O$。与两面投影类似，按图示将 H 面、W 面展开，使三个投影面展成同一个平面，如图 1.6(b)所示。这里需要说明的是，OY 轴在 H 面、W 面展开时被分成两部分，为了区分，分别用 Y_H(随 H 面旋转后的 Y 轴)、Y_W(随 W 面旋转后的 Y 轴)表示。

从图 1.6(a)中可以得出下面的关系。



(a) 立体图　　(b) 投影面展开图　　(c) 投影图

图 1.6　点在三投影面体系中的投影

(1) $a'a_X = a''a_Y = Aa$(反映空间点到 H 面的距离)。

(2) $aa_X = a''a_Z = Aa'$(反映空间点到 V 面的距离)。

(3) $aa_Y = a'a_Z = Aa''$(反映空间点到 W 面的距离)。

在上述关系中，有一个比较重要的关系，即 $aa_X = a''a_Z$(点的水平投影到 OX 轴的距离等于点的侧面投影到 OZ 轴的距离)。在作图时，可如图 1.6(c)所示，过点 O 作 45°角分线作为辅助线，用来表明 $aa_X = a''a_Z$ 的关系。同样，不必画出投影面的边框线和点 a_X、a_Y、a_Z，图 1.6(c)所示为点的三面投影图。

由此可以得到点的三面投影规律。

(1) 点的正面投影和水平投影的连线垂直于 OX 轴，即 $a'a \perp OX$。

(2) 点的正面投影和侧面投影的连线垂直于 OZ 轴，即 $a'a'' \perp OZ$。

(3) 点的水平投影到 OX 轴的距离等于点的侧面投影到 OZ 轴的距离，即 $aa_X = a''a_Z$。

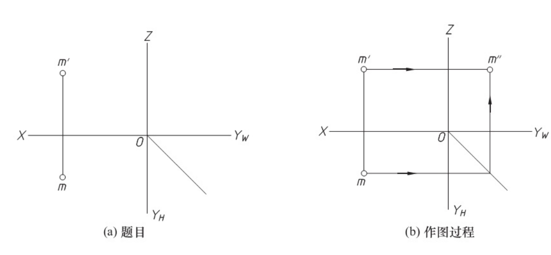
根据点的三面投影规律，已知点的任何两面投影，就可求出它的第三面投影。

【例 1－1】 已知点 M 的正面投影 m'和水平投影 m(图 1.7(a))，求作其侧面投影 m''。

解：如图 1.7(b)所示，根据点的三面投影规律，过 m'作 OZ 的垂线，再过 m 作 OY_H 的垂线与 45°辅助线交得一点，过该点作 OY_W 的垂线与过 m'作 OZ 的垂线相交，交点即为侧面投影 m''。

3. 点的三面投影与直角坐标

如图 1.6(a)所示的三面投影体系可以看成是一个空间直角坐标系，投影面 V、H、W 为坐标面，投影轴 OX、OY、OZ 为坐标轴，三轴交点 O 为坐标原点。



(a) 题目　　(b) 作图过程

图 1.7　已知点的两面投影，补画第三面投影

若空间点的位置确定，则其三个坐标和三个投影均确定，空间点的投影与其坐标是一一对应的。图 1.6(a)中关系如下：

(1) 点 A 到 W 面的距离 $Aa''=Oa_X=a'a_Z=aa_Y=X$ 坐标。

(2) 点 A 到 V 面的距离 $Aa'=Oa_Y=aa_X=a''a_Z=Y$ 坐标。

(3) 点 A 到 H 面的距离 $Aa=Oa_Z=a'a_X=a''a_Y=Z$ 坐标。

点的每面投影均由两个坐标确定，即 a' 确定点 A 的 X、Z 坐标；a 确定其 X、Y 坐标。因此，已知一点的两个投影就可知其三个坐标，反之，已知一个点的三个坐标即可作出其三面投影。

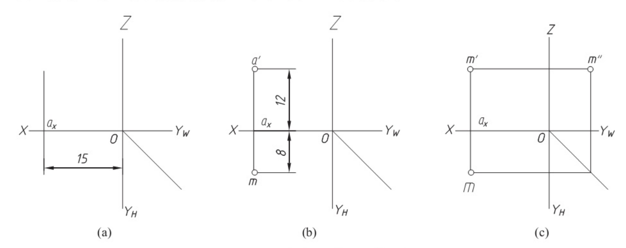
【例 1-2】 已知点 $A(15, 8, 12)$，求点 A 的三面投影。

解：作图过程如下。

(1) 从原点 O 向左沿 X 轴量取 15 得 a_X 点，如图 1.8(a)所示；

(2) 过 a_X 点作垂直于 X 轴的投影连线，自 a_X 向上量取 12，得正面投影 a'，自 a_X 沿 Y_H 轴方向量取 8 得水平投影 a，如图 1.8(b)所示；

(3) 利用 a'、a 作出侧面投影 a''，如图 1.8(c)所示。

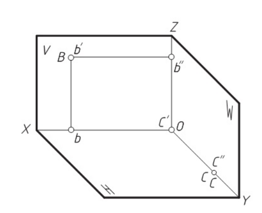


(a)　　(b)　　(c)

图 1.8　求点 A 的三面投影

4. 特殊位置点的投影

如图 1.9 所示，点 B 在 V 面上，点 C 在 OY 轴上，由其立体图和投影图可以看出处于投影面和投影轴上的点的坐标和投影规律：



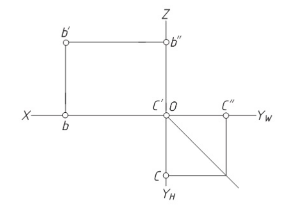


图 1.9　投影面和投影轴上的点

（1）投影面上的点有一个坐标为零，在该投影面上的投影与该点重合，在相邻投影面上的投影分别在相应的投影轴上。

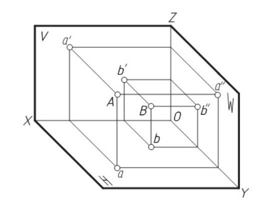
（2）投影轴上的点有两个坐标为零；在包含这条轴的两个投影面上的投影都与该点重合，在另一投影面上的投影则与原点 O 重合。值得注意的是：在 Y 轴上的点 C 的 W 面投影 c''在 OY 轴上，在投影图中必须画在 W 面的 OY_W 轴上，而不能画在 H 面的 OY_H 轴上。（原因请读者自行分析。）

5. 两点的相对位置

如图 1.10 所示，两个点的投影沿左右、前后、上下三个方向所反映的坐标差，即这两个点对投影面 W、V、H 的坐标差，能确定两点的相对位置。因此，给定两个点的投影，就可判断出两点上下、左右、前后的相对位置关系。同样，若已知一个点的投影以及两点的相对位置，也能作出另一点的投影。

由图 1.10 可看出，A、B 两点的相对位置关系，即点 A 在点 B 的左方、前方、上方。具体的坐标差可在投影图上量取。

需要指出的是，由于 H、W 面均为向外展开 90°而成，所以对于水平投影来说，Y 坐标大者为前；同样，对于侧面投影也是 Y 坐标大者为前。



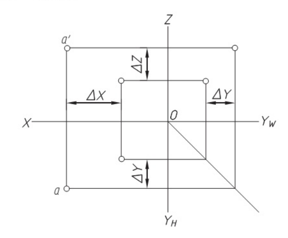
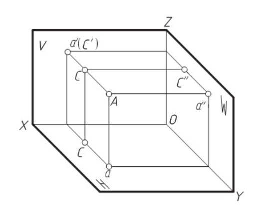


图 1.10　两点的相对位置

6. 重影点

若两点的某一同面投影（几何元素在同一投影面上的投影称为同面投影）重合，这两点称为对这个投影面或这个投影的重影点。

如图 1.11 所示，A、C 两点只有 Y 坐标不同，无左右(X 坐标)差和上下(Z 坐标)差，点 C 处于点 A 的正后方，A、C 两点的正面投影重合，称点 C 与点 A 为对正面投影的重影点。



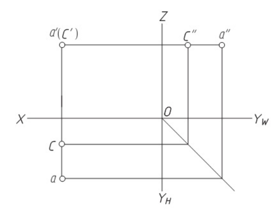


图 1.11　重影点

由于重影点有一个投影重合，在空间一定有一点遮挡住另一点，所以存在着可见与不可见的问题(不可见投影加括号)。

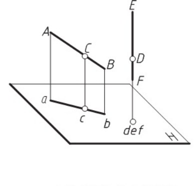
对于第一分角而言，几何元素均是放在观察者与投影面之间，所以对于重影点来说，坐标大者为可见点，坐标小者为不可见点。

1.3　直线的投影

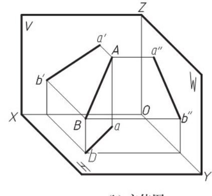
1.3.1　直线及直线上点的投影特性

直线的投影一般仍为直线，如图 1.12(a)中的直线 AB；特殊情况下投影积聚为一点，如图 1.12(a)中的直线 EF。

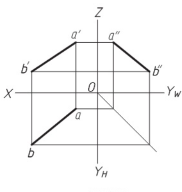
作直线的投影时，用线段代表直线，一般先画出线段两个端点的三面投影，然后分别将两端点的同面投影连线，即为直线的三面投影，直线的投影用粗实线表示。如图 1.12 所示。若点 C 在 AB 直线上，则点 C 的投影 c 必在直线 AB 的投影 ab 上。根据初等几何知识可知：$AC:CB=ac:cb$，同理，$AC:CB=a'c':c'b'=a''c'':c''b''$，即点在直线上，点的投影必在直线的同面投影上，点分线段之比等于点的投影分线段的投影之比。



(a) 直线及直线上点的投影



(b) 立体图



(c) 投影图

图 1.12　直线的投影

【例 1-3】 如图 1.13 图所示，作出分线段 AB 为 3∶2 的点 C 的两面投影 c'、c。

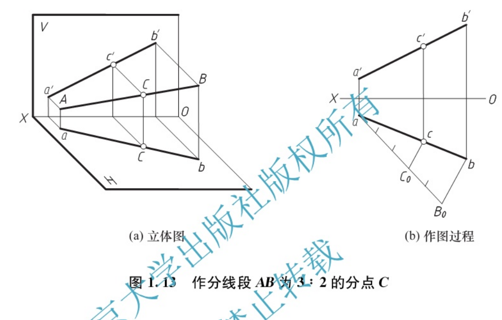
解：分析：根据直线上点的投影特性，点 C 在线段 AB 上，则 $AC:CB=ac:cb=a'c':c'b'=3:2$，因此可先将线段 AB 的一个投影分为 3∶2，从而得到点 C 的一个投影，再作出其另一个投影即可。

作图过程如下。

(1) 由 a 作任意直线，在其上量取 5 个单位长度，得 B_0，在 aB_0 上取 C_0，使 $aC_0:C_0B_0=3:2$。

(2) 连接 B_0b，作 $C_0c /\!/ B_0b$，与 ab 相交得 C 的水平投影 c。

(3) 由 c 作投影连线，与 $a'b'$ 相交得 C 的正面投影 c'。



(a) 立体图　　(b) 作图过程

图 1.13　作分线段 AB 为 3∶2 的分点 C

1.3.2　直线对投影面的各种相对位置

直线按对投影面的相对位置可分为以下三类；其中后两类又可再各分为三种，统称为特殊位置直线。

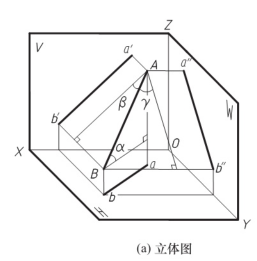
- 直线
  - 一般位置直线：对 V、H、W 面都倾斜
  - 投影面平行线(只平行于一个投影面)
    - 正平线(V 面平行线)：$/\!/V$ 面，对 H、W 面都倾斜
    - 水平线(H 面平行线)：$/\!/H$ 面，对 V、W 面都倾斜
    - 侧平线(W 面平行线)：$/\!/W$ 面，对 V、H 面都倾斜
  - 投影面垂直线(垂直于一个投影面)
    - 正垂线(V 面垂直线)：$\perp V$ 面，$/\!/H$ 面、$/\!/W$ 面
    - 铅垂线(H 面垂直线)：$\perp H$ 面，$/\!/V$ 面、$/\!/W$ 面
    - 侧垂线(W 面垂直线)：$\perp W$ 面，$/\!/V$ 面、$/\!/H$ 面

直线与它的水平投影、正面投影、侧面投影的夹角，分别称为直线对投影面 H、V、W 的倾角，分别用 α、β、γ 表示。当直线平行于投影面时，倾角为 0°；垂直于投影面时，倾角为 90°；倾斜于投影面时，则倾角大于 0°，小于 90°。

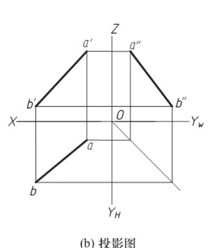
1. 一般位置直线

与三个投影面都倾斜的直线称为一般位置直线。如图 1.14 所示，一般位置直线与三个投影面都倾斜，直线的三个投影都与投影轴倾斜。直线的投影长度 $ab=AB\cos\alpha$，$a'b'=$

$AB\cos\beta$，$a''b''=AB\cos\gamma$。由于一般位置直线的 α、β、γ 均不等于零，故得出一般位置直线的投影特性：三个投影长度均小于实长，其投影与投影轴的夹角也不反映空间直线对投影面的真实倾角。



(a) 立体图



(b) 投影图

图 1.14　一般位置直线

2. 投影面平行线

只平行于一个投影面的直线统称为投影面平行线。它可分为三种：平行于 V 面的直线称为正平线；平行于 H 面的直线称为水平线；平行于 W 面的直线称为侧平线。

表 1-1 列出了三种投影面平行线的立体图、投影图和投影特性。以其中的正平线为例，分析其投影特性如下。

因为 $AB/\!/V$，即 $\beta=0°$，所以 $a'b'/\!/AB$，$a'b'=AB$。

因为 AB 上各点与 V 面等距，即 Y 坐标相等，所以 $ab/\!/OX$，$a''b''/\!/OZ$。

因为 $AB/\!/a'b'$，$ab/\!/OX$，$a''b''/\!/OZ$，所以 $a'b'$ 与 OX、OZ 的夹角，即为 AB 对 H 面、W 面的真实倾角 α、γ。

正平线的 α、γ 不为零，所以，$ab=Ab\cos\alpha<AB$，$a''b''=Ab\cos\gamma<AB$。

从表 1-1 可概括出投影面平行线的投影特性：

表 1-1　投影面平行线的投影特性

名称	正平线(//V 面，对 H、W 面倾斜)	水平线(//H 面，对 V、W 面倾斜)	侧平线(//W 面，对 V、H 面倾斜)
立体图	V, a′, Z, b′, α, γ, A, a″, W, X, B, O, b″, b, a, H, Y	V, Z, c′, d′, C, β, γ, c″, D, W, X, O, d″, c, β, γ, d, H, Y	V, Z, e′, E, e″, β, f′, α, W, X, O, e, F, f″, f, H, Y

（续）

名称	正平线（$/\!/V$ 面，对 H、W 面倾斜）	水平线（$/\!/H$ 面，对 V、W 面倾斜）	侧平线（$/\!/W$ 面，对 V、H 面倾斜）
投影图			
投影特性	① $a'b'$ 反映实长和真实倾角 α、γ； ② $ab/\!/OX$，$a''b''/\!/OZ$，长度缩短	① cd 反映实长和真实倾角 β、γ； ② $c'd'/\!/OX$，$c''d''/\!/OY_W$，长度缩短	① $e''f''$ 反映实长和真实倾角 β、α； ② $e'f'/\!/OZ$，$cd/\!/OY_H$，长度缩短

（1）在平行的投影面上的投影反映实长；它与投影轴的夹角分别反映直线对另两投影面的真实倾角。

（2）在另外两个投影面上的投影平行于相应的投影轴，长度缩短。

3. 投影面垂直线

垂直于投影面的直线统称为投影面垂直线。它可分为三种：垂直于 H 面的直线称为铅垂线；垂直于 V 面的直线称为正垂线；垂直于 W 面的直线称为侧垂线。投影面垂直线垂直于一个投影面，必与另外两个投影面平行。

表 1-2 列出了三种投影面垂直线的立体图、投影图和投影特性，以正垂线为例，分析其投影特性如下。

因为 $AB\perp V$ 面，所以 $a'b'$ 积聚成一点。

因为 $AB/\!/W$ 面，$AB/\!/H$ 面，AB 上各点的 X 坐标、Z 坐标分别相等，所以 $ab/\!/OY_H$、$a''b''/\!/OY_W$，且 $a''b''=AB$、$ab=AB$。

从表 1-2 可概括出投影面垂直线的投影特性：

表 1-2　投影面垂直线的投影特性

名称	正垂线（$\perp V/\!/H/\!/W$）	铅垂线（$\perp H/\!/V/\!/W$）	侧垂线（$\perp W/\!/V/\!/H$）
立体图			

（续）

名称	正垂线（$\perp V // H // W$）	铅垂线（$\perp H // V // W$）	侧垂线（$\perp W // V // H$）
投影图	$a'b'$、b''、a''、Z、X、O、Y_W、b、a、Y_H	c'、c''、d'、d''、Z、X、O、Y_W、cd、Y_H	e'、f'、$e''f''$、Z、X、O、Y_W、e、f、Y_H
投影特性	① $a'b'$积聚成一点； ② $ab // OY_H$、$a''b'' // Y_W$，都反映实长	① cd 积聚成一点； ② $c'd' // OZ$、$c''d'' // OZ$，都反映实长	① $e''f''$积聚成一点； ② $ef // OX$、$e'f' // OX$，都反映实长

（1）与直线垂直的投影面上的投影，积聚成一点。

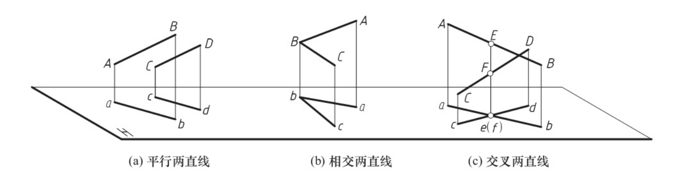
（2）在另外两个投影面上的投影，平行于相应的投影轴，反映实长。

1.3.3　两直线的相对位置

如图 1.15 所示，两直线的相对位置有三种情况：平行，相交和交叉（既不平行也不相交，也称异面）。

1. 两直线平行

如图 1.15(a)所示，过平行两直线 AB、CD 上各点的投射线所形成的两个平面互相平行，它们与 H 面的交线也互相平行，即 $ab // cd$。同理可证：$a'b' // c'd'$，$a''b'' // c''d''$。



(a) 平行两直线　　(b) 相交两直线　　(c) 交叉两直线

图 1.15　两直线的相对位置

2. 两直线相交

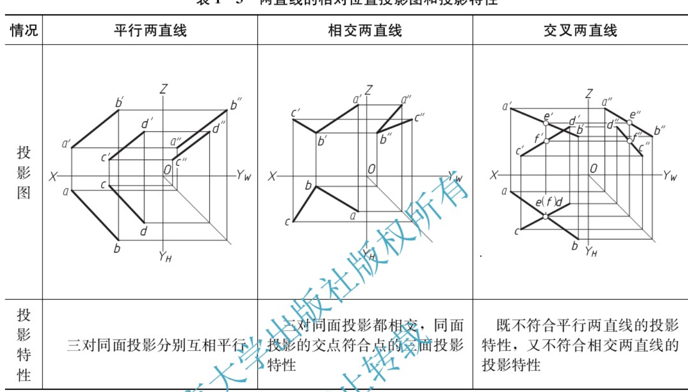
如图 1.15(b)所示，AB 与 BC 交于 B，则 B 是两直线的共有点，b 应同时位于 ab 和 bc 上，即在这两条直线的水平投影的交点处。同理可证：b'和 b''也应分别位于这两条直线的同面投影的交点处。由于 b'、b、b''是点 B 的三面投影，因而应符合点的三面投影特性，即 $b'b \perp OX$，$b'b'' \perp OZ$。

3. 两直线交叉

如图1.15(c)所示，虽然水平投影 ab 与 cd 相交，但 ab 与 cd 的交点是分别位于 AB 上的点 E 和 CD 上的点 F 对水平投影的重影点 $e(f)$，因而 AB 和 CD 是交叉两直线。由于 E 在 F 之上，所以 e 可见，f 不可见。

表1-3中列出了两直线的相对位置投影图和投影特性。

表1-3　两直线的相对位置投影图和投影特性



情况	平行两直线	相交两直线	交叉两直线
投影图			
投影特性	三对同面投影分别互相平行	三对同面投影都相交，同面投影的交点符合点的三面投影特性	既不符合平行两直线的投影特性，又不符合相交两直线的投影特性

由于交叉两直线在空间既不相交，也不平行，所以即使它们的三对同面投影都相交，如表1-3中所示，其投影的交点也一定不符合点的三面投影规律。

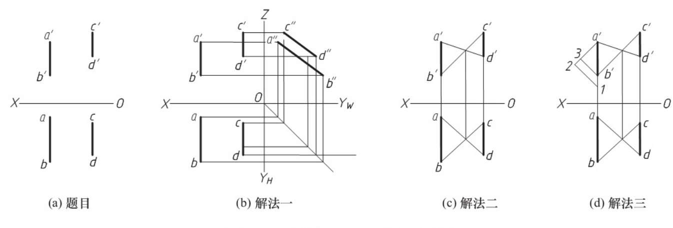
值得注意的是：如表1-3中交叉两直线的投影图所示，同面投影的交点分别是两直线的处于同一投射线上的两个点的投影(重影点)，应该从另一投影中用前遮后、上遮下、左遮右来判断它们的可见性。例如，对 ab 与 cd 的交点，可从正面投影或侧面投影中看出 AB 上的点 E 在上，CD 上的点 F 在下，所以是 e 遮住了 f。同理可判断出正面和侧面投影重影点的可见性。

【例1-4】 如图1.16(a)所示，判断两直线的相对位置。

解：由图1.16(a)可看出，AB、CD 均为侧平线，由于两侧平线有左右距离差，它们不相交，首先排除了它们相交的可能性。图1.16(b)～(d)分别列举了三种解法。

解法一：如图1.16(b)所示，添加投影轴，将两面投影添加成三面投影，作出 $a''b''$ 和 $c''d''$。若 $a''b''/\!/c''d''$，则 $AB/\!/CD$；若 $a''b''$ 不平行 $c''d''$，则 AB 和 CD 交叉。按作图结果可以判定 $AB/\!/CD$。

解法二：如图1.16(c)所示，作辅助线 $a'd'$、$b'c'$、ab、bc，将 $a'd'$ 与 $b'c'$ 的交点和 ad 与 cd 的交点连线，若连线垂直于 OX 轴，则 AD 和 BC 相交，点 A、B、C、D 共面，可判定 $AB/\!/CD$；若连线不垂直于 OX 轴，则 AD 和 BC 交叉，点 A、B、C、D 不共面，可判定 AB 和 CD 也交叉。此题作图结果可以判定 $AB/\!/CD$。



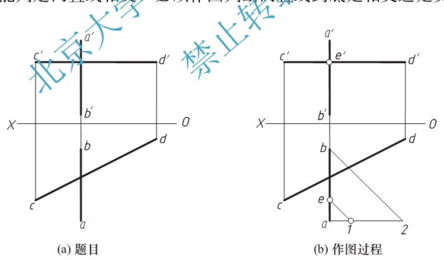
(a) 题目　(b) 解法一　(c) 解法二　(d) 解法三

图 1.16　判断 *AB*、*CD* 的相对位置

解法三：如图 1.16(d)所示，先检查 AB 和 CD 方向大体是否同向：若不同向，则 AB 和 CD 交叉；若大体同向，则再检查 $a'b'$ ∶ $ab=c'd'$ ∶ cd 的关系是否成立，成立时 $AB/\!/CD$，不成立时 AB 和 CD 交叉。从图中可看出：AB 和 CD 都是向前、向下，大体同向，继续检查 $a'b'$ ∶ $ab=c'd'$ ∶ cd 是否成立，其作图过程是：在 $a'b'$ 上量 $a'1=ab$，然后过 a' 任作一直线，在其上量取 $a'2=cd$、$a'3=c'd'$，连接 1 和 2、b' 和 3，因图中所作出的 $12/\!/b'3$，也就是 $a'b$ ∶ $ab=c'd'$ ∶ cd 成立，所以由作图结果可以判定 $AB/\!/CD$。

【例 1-5】　如图 1.17(a)所示，判断直线 AB、CD 的相对位置。

解：由于两直线的同面投影不平行，所以 AB 不平行 CD。但因其中的 AB 直线为侧平线(特殊位置直线)，虽然两直线的正面和水平投影均相交，且投影的交点的连线垂直于 OX 轴，但也不能判定两直线相交，必须作图判断两直线到底是相交还是交叉。



(a) 题目　(b) 作图过程

图 1.17　判断 *AB*、*CD* 的相对位置

图 1.17(b)所示的解题原理是：若 AB、CD 相交，则 $a'b'$ 和 $c'd'$ 的交点是 AB 和 CD 的交点的投影；若 AB、CD 交叉，则 $a'b'$ 和 $c'd'$ 的交点是位于 AB、CD 上对正面投影的重影点的投影。

(1) 在 $a'b'$ 和 $c'd'$ 的相交处，定出 AB 上的点 E 的正面投影 e'。

(2) 由 a 任作一直线，在其上量取 $a1=a'e'$、$12=e'b'$。

(3) 连接 $2b$，作 $1e/\!/2b$，与 ab 交于 e，即为点 E 的水平投影。因为 e 不在 ab 和 cd 的交点处，所以 AB 与 CD 交叉。

此题也可以如图 1.16(b)所示，补画出两直线的侧面投影，从而最终判断两直线的相对位置。

1.3.4　用直角三角形法求直线的实长及其对投影面的倾角

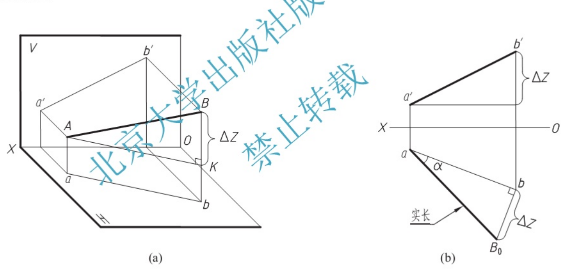
特殊位置直线在三面投影图中能直接反映实长及其对投影面的倾角，而一般位置直线的投影则不能直接反映其实长及倾角。下面介绍用直角三角形法求作一般位置直线的实长和倾角。

如图 1.18(a)所示为一般位置直线 AB 及其两面投影的立体图。在过 AB 上各点向 H 面所作的投射线形成的平面 $ABba$ 内，作 $AK /\!/ ab$，与 Bb 交于 K，得直角三角形 ABK。在此三角形中：$AK=ab$；$BK=Bb-Aa$，即两端点的 Z 坐标差；斜边 AB 即为实长；$\angle KAB$ 就是 AB 对 H 面的倾角 α。设法作出这个直角三角形，就能确定 AB 的实长和倾角 α。这种求作一般位置直线的实长和倾角的方法，称为直角三角形法。

作图过程如图 1.18(b)所示。

(1) 以 ab 为一直角边，由 b 作 ab 的垂线。

(2) 由 a' 作水平线，从而在正面投影中作出两端点 A、B 的 Z 坐标差，将这段距离差量到由 b 所作的垂线上，得 B_0，bB_0 即为另一直角边，直角三角形 abB_0 中的斜边 aB_0 即为直线的实长。



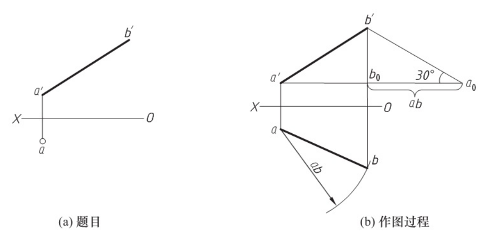
(a)　　　　(b)

图 1.18　求一般位置直线的实长和倾角

按照上述的作图原理和方法，也可以将 $a'b'$ 或 $a''b''$ 为一直角边，再以直线在另外投影面上直线两端点的坐标差为另一直角边形成直角三角形，从而作出 AB 的实长及其对 V 面的倾角 β 或对 W 面的倾角 γ。

由此可以归纳出用直角三角形法求直线实长与倾角的方法是：以直线在某一投影面上的投影为一直角边，再以直线在另外投影面上直线两端点的坐标差为另一直角边形成的直角三角形，其斜边就是直线的实长，斜边与该投影面上直线投影的夹角就是直线对这个投影面的倾角。若利用直角三角形法求直线对 V 面的倾角 β 或对 W 面的倾角 γ，其中所作的直角三角形的一个直角边应该是哪个面上的投影？请读者自行分析。

【例 1-6】　如图 1.19(a)所示，已知直线 AB 的正面投影 $a'b'$ 及其一个端点 A 的水平投影 a，并知 $\alpha=30°$，试补全直线 AB 的水平投影 ab。



(a) 题目　　(b) 作图过程

图 1.19　求直线 *AB* 的水平投影 *ab*

解：根据直角三角形法求实长及倾角的方法，以 AB 的水平投影为一直角边，以 AB 两端点的 Z 坐标差为另一直角边作直角三角形，即可求出直线 AB 的实长及其 α 角。在此例中直线的 Z 坐标可求，α 角已知，则可作出直角三角形。这样就可确定其水平投影的长度，从而确定点 B 的水平投影。

作图过程如图 1.19(b)所示。

(1) 过 a' 作 OX 轴平行线，过 b' 作 OX 轴垂直线，两线交点为 b_0。

(2) 过 b' 作直线使其与 $a'b_0$ 成 30°，与 ab_0 的沿长线交于 a_0。

(3) 以 a 为圆心，以 a_0b_0 为半径画弧交 $b'b_0$ 的沿长线于 b 点。

(4) 连 ab 即为直线 AB 的水平投影。

应该指出的是，此题在第(3)步的画弧中，圆弧与 $b'b_0$ 的延长线会有两个交点 b，说明此题是有两个解的。在本课程中对于多解题如无要求，只作出其中一解即可。

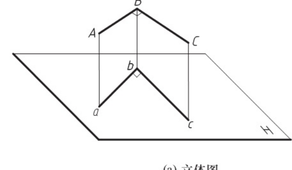
1.3.5　直角投影定理

空间两直线(相交或交叉) 垂直，其中有一条直线与某一投影面平行，则此两直线在该投影面上的投影是直角。

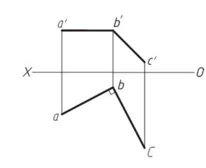
如图 1.20(a)所示，以一边平行于水平面的直角为例，证明如下。

已知 $AB /\!/ H$，$\angle ABC$ 是直角。因为 $AB /\!/ H$，$Bb \perp H$，所以 $AB \perp Bb$。因为 $AB \perp BC$、$AB \perp Bb$，则 $AB \perp$ 平面 $BCcb$。又因 $AB /\!/ H$，所以 $ab /\!/ AB$。由于 $ab /\!/ AB$、$AB \perp$ 平面 $BCcb$，则 $ab \perp$ 平面 $BCcb$，于是 $ab \perp bc$，即 $\angle abc$ 仍是直角。

图 1.20(b)是一边(AB)平行于水平面的直角($\angle ABC$)的投影图。



(a) 立体图



(b) 投影图

图 1.20　一边平行于投影面的直角的投影

【例 1－7】 如图 1.21(a)所示，求作交叉两直线 AB、CD 的公垂线以及 AB、CD 之间的距离。

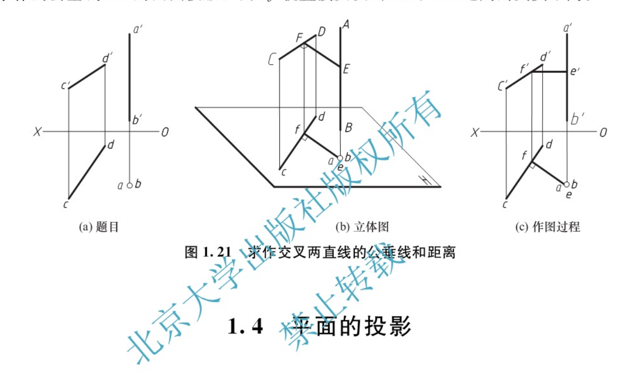
解： 如图 1.21(b)所示，AB、CD 的公垂线 EF 是与 AB、CD 都垂直相交的直线。设垂足分别为点 E 和 F，则 EF 的实长就是交叉两直线 AB、CD 之间的距离。

因为 $AB\perp H$、$EF\perp AB$，所以 $EF/\!/H$，并且垂足 E 的水平投影 e 一定积聚在 ab 上。又因 $EF/\!/H$、$EF\perp CD$，所以 $ef\perp cd$。又由于 $EF/\!/H$，则 ef 反映 EF 的实长，即为 AB、CD 之间的距离。

作图过程如图 1.21(c)所示。

(1) 先在 ab 处定出 e，作 $ef\perp cd$，交于 f。

(2) 由 f 作出投影连线，在 $c'd'$ 上求出 f'；再由 f' 作 $e'f'/\!/OX$，与 $a'b'$ 交于 e'。即为所求作的公垂线 EF 的两面投影，而 ef 就直接反映出 AB、CD 之间的真实距离。



(a) 题目　　(b) 立体图　　(c) 作图过程

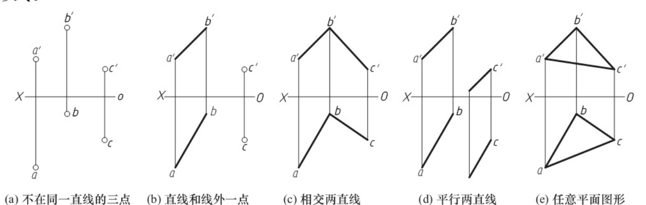
图 1.21　求作交叉两直线的公垂线和距离

1.4　平面的投影

1.4.1　平面的表示法

1. 用几何元素表示

平面通常用点、直线或平面图形等几何元素的投影表示，如图 1.22 所示，有以下五种形式。



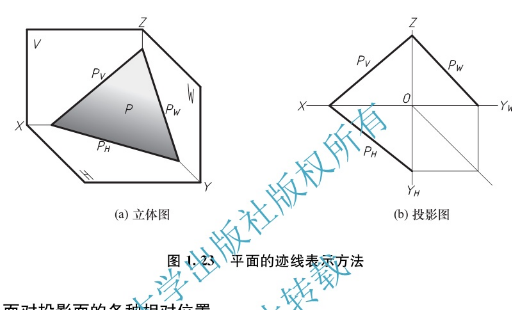
(a) 不在同一直线的三点　(b) 直线和线外一点　(c) 相交两直线　(d) 平行两直线　(e) 任意平面图形

图 1.22　用几何元素表示平面

2. 用迹线表示

平面主要用几何元素表示，也可以用迹线表示。迹线是平面与投影面的交线。

如图 1.23 所示，用迹线表示的平面称为迹线平面。平面与 V 面、H 面、W 面的交线，分别称为正面迹线 P_V(V 面迹线)、水平迹线 P_H(H 面迹线)、侧面迹线 P_W(W 面迹线)。迹线的符号用平面名称的大写字母附加投影面名称的注脚表示，如图 1.23 中的 P_V、P_H、P_W。迹线既是投影面上的直线，又属于平面，它在该投影面上的投影与其本身重合，用粗实线表示，并标注上述符号；它在另外两个投影面上的投影分别在相应的投影轴上，为清晰简便地作图，不需作任何表示和标注。

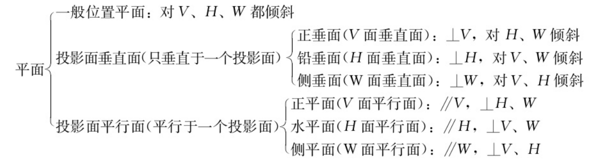


(a) 立体图　　(b) 投影图

图 1.23　平面的迹线表示方法

1.4.2　平面对投影面的各种相对位置

平面按对投影面的相对位置，可分为以下三类；其中后两类又可再各分成三种，统称为特殊位置平面。

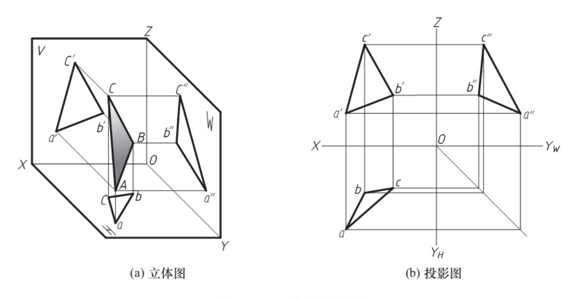


平面与 H、V、W 的两面角分别就是平面对投影面 H、V、W 的倾角，同样用 α、β、γ 来表示。当平面平行于投影面时，倾角为 0°；垂直于投影面时，倾角为 90°；倾斜于投影面时，则倾角大于 0°小于 90°。

1. 一般位置平面

如图 1.24 所示，$\triangle ABC$ 与投影面 V、H、W 都倾斜，称为一般位置平面。

一般位置平面在三个投影面的投影不反映实形，也不反映平面与投影面的倾角，其三个投影均为原图形的类似形且较原图形面积缩小。



(a) 立体图　(b) 投影图

图 1.24　一般位置平面

2. 投影面垂直面

只垂直于一个投影面的平面统称为投影面垂直面。它可分为三种：垂直于 H 面的平面称为铅垂面；垂直于 V 面的平面称为正垂面；垂直于 W 面的平面称为侧垂面。

表 1-4 列出了投影面垂直面的立体图、投影图和投影特性。以正垂面为例，分析其投影特性如下。

表 1-4　投影面垂直面的立体图、投影图和投影特性

名称	正垂面(⊥V，对 H、W 倾斜)	铅垂面(⊥H，对 V、W 倾斜)	侧垂面(⊥W，对 V、H 倾斜)
立体图			
投影图			

（续）

名称	正垂面（$\perp V$，对 H、W 倾斜）	铅垂面（$\perp H$，对 V、W 倾斜）	侧垂面（$\perp W$，对 V、H 倾斜）
迹线表示法	Z P_V X O Y_W Y_H	Z X O Y_W Q_H Y_H	Z R_W X O Y_W Y_H
投影特性	① 正面投影积聚成直线，并反映真实倾角 α、γ；② 水平投影、侧面投影仍为平面图形，面积缩小	① 水平投影积聚成直线，并反映真实倾角 β、γ；② 正面投影、侧面投影仍为平面图形，面积缩小	① 侧面投影积聚成直线，并反映真实倾角 β、α；② 正面投影、水平投影仍为平面图形，面积缩小

平面 $ABCD$ 垂直于 V 面，该平面的正面投影积聚为一直线且与其正面迹线相重合。

正垂面 $ABCD$ 的正面投影与 OX 轴的夹角反映该平面对 H 面的夹角 α、与 OZ 轴的夹角反映该平面对 W 面的夹角 γ。

正垂面 $ABCD$ 的水平及侧面投影不反映实形，为原图形的类似形，且较原图形面积缩小。

对特殊位置平面，若用迹线表示（只考虑平面的位置）时，可只用两段短的粗实线（长约 5mm）表示有积聚性的迹线位置，中间用细实线相连，并在粗实线附近标上迹线名称。

由表 1 - 4 可概括出投影面垂直面的投影特性：

（1）在垂直的投影面上的投影，积聚成直线；它与投影轴的夹角，分别反映平面对另两投影面的真实倾角。

（2）在另外两个投影面上的投影仍为平面图形，面积缩小。

3. 投影面平行面

平行于投影面的平面统称为投影面平行面，可分为三种：平行于 V 面的平面称为正平面；平行于 H 面的平面称为水平面；平行于 W 面的平面称为侧平面。

表 1 - 5 中列出了投影面平行面的立体图、投影图和投影特性。以正平面为例，分析其投影特性。

因为矩形 $ABCD//V$ 面，四条边都平行于 V 面，它们的正面投影都分别与它们相平行，且长度也对应相等，所以矩形 $ABCD$ 的正面投影 $a'b'c'd'$ 反映实形。

由于矩形 $ABCD//V$ 面，必与 H、W 面都垂直，且矩形内各点的 y 坐标都相等，因而水平投影 $abcd//OX$，侧面投影 $a''b''c''d''//OZ$，分别积聚成直线，且水平投影和侧面投影分别与平面的水平和侧面迹线相重合。

表 1-5　投影面平行面的立体图、投影图和投影特性

名称	正平面(//V 面)	水平面(//H 面)	侧平面(//W 面)
立体图			
投影图			
迹线表示法			
投影特性	① 正面投影反映实形； ② 水平投影 //OX，侧面投影 //OZ，分别积聚成直线	① 水平投影反映实形； ② 正面投影 //OX，侧面投影 $//OY_W$，分别积聚成直线	① 侧面投影反映实形； ② 正面投影 //OZ，水平投影 $//OY_H$，分别积聚成直线

由表 1-5 可概括出投影面平行面的投影特性：

(1) 在平行的投影面上的投影，反映实形。

(2) 在另外两个投影面上的投影，分别积聚成直线，平行于相应的投影轴。

1.4.3　平面上的点和直线

1. 点和直线在平面上的几何条件

点和直线在平面上的几何条件：

(1) 点在平面上，则该点必定在这个平面的一条直线上。

(2) 直线在平面上，则该直线必定通过这个平面上的两个点，或者通过这个平面上的一个点，且平行于这个平面上的另一直线。

根据上述条件，如图 1.25 所示，点 D 和直线 DE 均在平面 ABC 上。

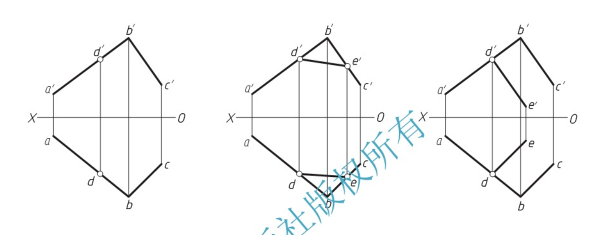


图 1.25　平面上的点和直线

【例 1－8】　如图 1.26(a)所示，判断点 D 是否在平面△ABC 上。

解：若点 D 位于△ABC 平面内的一条直线上，则点 D 在△ABC 平面上；否则，不在△ABC 平面上。

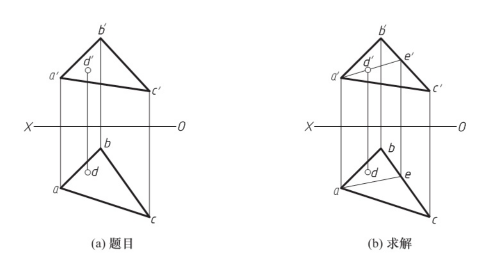
作图判断过程如图 1.26(b)所示。

(1) 连接 $a'd'$ 并延长，得到与 $b'c'$ 的交点 e'。

(2) 过 e' 作垂直于 X 轴的投影连线得到与 bc 的交点 e。

(3) 连接 ae。

从作图结果看出，点 D 的水平投影 d 不在 ae 上，所以点 D 不在△ABC 平面上。



(a) 题目　　(b) 求解

图 1.26　判断点 D 是否在△ABC 上

【例 1-9】　如图 1.27(a)所示，已知平面四边形 $ABCD$ 的水平投影 $abcd$ 和 AB、AC 两边的正面投影 $a'b'$、$a'c'$，要求完成此四边形的正面投影。

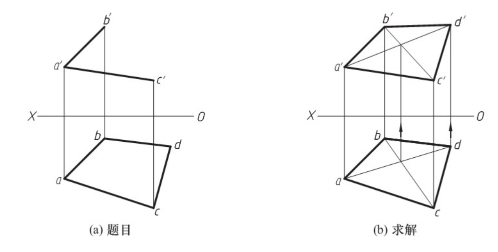


图 1.27　求作四边形的正面投影

解：因为四边形的 A、B、C、D 四个顶点位于同一平面内，已知 A、B、C 三顶点的两个投影，实际上是已知△ABC 平面内的一点 D 的水平投影 d，求它的正面投影 d' 的问题。

作图过程如下。

(1) 连接 B、C 的两面投影 $b'c'$，bc。

(2) 连接 a、d 并交 bc 于 e。

(3) 过 e 作 OX 轴垂线交 $b'c'$ 于 e'。

(4) 连接 $a'e'$ 并延长交 dd' 于 d'。

(5) 连接 b'、d' 及 c'，即得四边形的正面投影 $a'b'c'd'$。

因为特殊位置平面在它所垂直的投影面上的投影积聚成直线，所以特殊位置平面上的点、直线和平面图形在该平面所垂直的投影面上的投影，都位于这个平面的有积聚性的同面投影或迹线上。在图 1.28(a)中，点 D 在铅垂面 ABC 上；在图 1.28(b)中，直线 EF 位于正垂面 P 上；在图 1.28(c)中，△ABC 位于水平面 P 上。

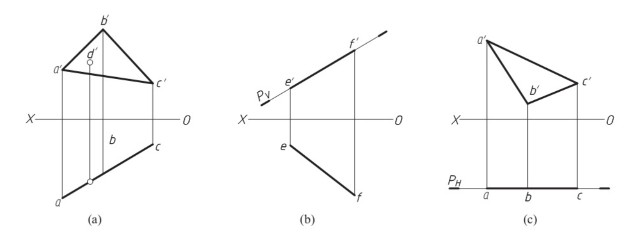


图 1.28　特殊位置平面上的点、直线和平面图形

【例 1-10】　如图 1.29 所示，已知点 A、B 和直线 CD 的两面投影。过点 A 作正平面；过点 B 作正垂面，$\alpha=45°$；过直线 CD 作铅垂面。

解：因为特殊位置平面在与它相垂直的投影面上的迹线有积聚性，可画出一条有积聚性的迹线表示特殊位置平面。作图过程如图 1.29 所示。

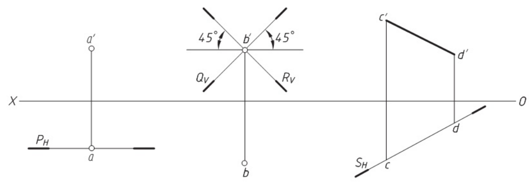


图 1.29　过点或直线作特殊位置平面

(1) 过点 A 只能作出一个平面 P 与 V 面相平行，P_H有积聚性，作 P_H平行于 OX，就作出了所求的正平面 P。

(2) 过点 B 可作无限多个正垂面，但 $\alpha=45°$的只有两个平面 Q 和 R。因为正垂面的正面迹线有积聚性，且反映与 H 面的真实倾角 α，所以过 b' 作两条与 OX 成 45°的倾斜线，即为 Q_V和 R_V，于是便作出了所求的正垂面 Q 和 R。

(3) 过直线 CD 只能作出一个铅垂面 S，因为 S_H有积聚性，cd 必定积聚在其上，于是 cd 及其延长线即为所求铅垂面 S 的水平迹线 S_H，便作出了所求的平面 S。

2. 平面上的投影面平行线

平面上的投影面平行线具有 1.3.2 所述投影面平行线的投影性质，又与所属平面保持从属关系。

属于一般位置平面或投影面垂直面的投影面平行线方向是一定的。如图 1.30 所示，属于平面 P 的水平线平行于水平迹线 P_H，属于平面 P 的正平线平行于正面迹线 P_V。

属于一般位置平面的投影面平行线平行于该平面的相应迹线，利用投影面平行线的方向作出平面的最大斜度线(平面上相对投影面倾角最大的直线，该倾角也是平面与投影面间的夹角)，进而可求出平面和投影面之间的倾斜角度。平面法线的作图也要依靠该平面的投影面平行线方向。

【例 1-11】 已知△ABC 平面，如图 1.31 所示，试过点 A 作属于平面的水平线，过点 C 作属于平面的正平线。

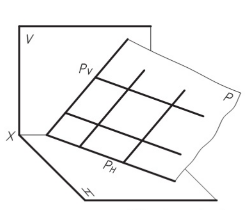


图 1.30　平面上的投影面平行线

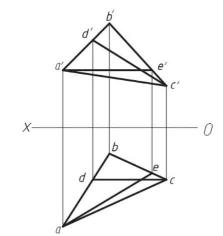


图 1.31　作属于平面的水平线和正平线

解：水平线的正面投影总是平行于 OX 轴的。因此先过 a' 作 $a'e'$ 平行于 OX 轴，与 $b'c'$ 交于 e'；在 bc 上定出 e，连接 ae；$AE(ae, a'e')$ 即为所求水平线。同理，先过 c 作 cd 平行于 OX 轴，然后作出 $c'd'$，$CD(cd, c'd')$ 即为所求正平线。

读者还可再试作属于该平面的另一水平线，以验证它们是平行于 AE 的。

【例 1-12】 如图 1.32(a)所示，已知平面 $ABCD$ 的两面投影，在其上取一点 K，使点 K 在 H 面之上 14mm，在 V 面之前 10mm。

解：分析：可先在平面 $ABCD$ 上取位于 V 面之上 10mm 的正平线 EF，再在 EF 上取位于 H 面之前 14mm 的点即为 K。

作图过程如图 1.32(b)所示。

(1) 先在 OX 之前 10mm 处作出 ef，再由 ef 作出 $e'f'$。

(2) 在 $e'f'$ 上取位于 OX 之上 14mm 的点 k'，即为所求点 K 的正面投影。由 k' 作出在 ef 上所求点 K 的水平投影 k。

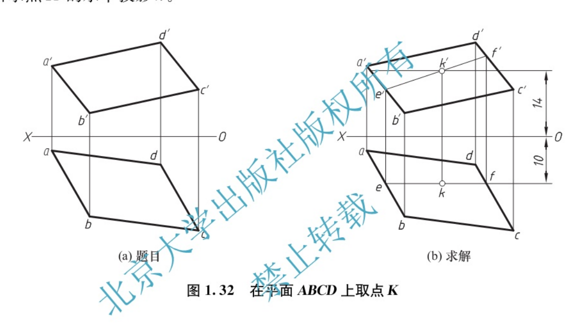


图 1.32　在平面 ABCD 上取点 K

复习思考题

1. 投影法分哪两类？正投影法是怎样形成的？
2. 试述点的三面投影特性和直线上点的投影特性。
3. 一般位置直线、投影面平行线、投影面垂直线分别有哪些投影特性？
4. 两直线有哪三种相对位置？试分别叙述它们的投影特性。
5. 怎样判断交叉两直线在投影图中的重影点的可见性？
6. 在投影图上怎样表示平面？
7. 一般位置平面、投影面平行面、投影面垂直面分别有哪些投影特性？
8. 一点属于一平面的必要条件是什么？

第2章 直线和平面的相对位置及换面法

2.1 直线与平面平行、平面与平面平行

直线与平面、平面与平面的相对位置可分为平行、相交及垂直三种情况。下面分别介绍有关平行、相交和垂直问题的投影特性和作图方法。

2.1.1 直线与平面平行

由初等几何中知道：若平面外一条直线平行于平面内一条直线，则该直线与平面必相互平行。据此可以解决空间直线和平面相互平行问题。

如图 2.1 所示，直线 AB 平行于属于平面 P 的直线 CD，则直线 AB 与平面 P 平行。

【例 2-1】 如图 2.2 所示，试判断已知直线 AB 是否平行于平面△CDE。

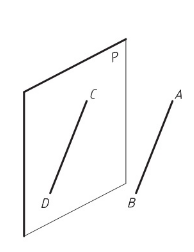


图 2.1 直线与平面平行

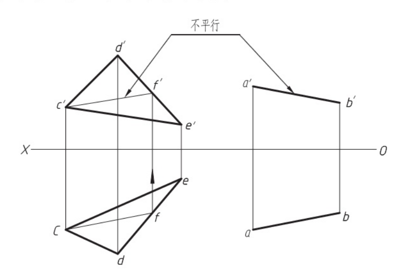


图 2.2 判断直线与平面是否平行

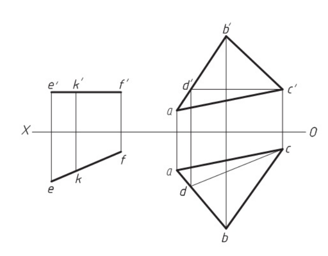


图 2.3　作水平线平行于已知平面

解：问题取决于在平面△CDE 内，是否可以作出一属于平面且平行于 AB 的直线。为此，作属于平面的辅助线 CF，首先使 cf//ab，再作出相应的正面投影 $c'f'$，查看 $c'f'$ 与 $a'b'$是否平行，因 $c'f'$ 不平行 $a'b'$，则 CF 不平行 AB，即平面内没有平行于 AB 的直线。所以直线 AB 不平行于该平面。

【例 2-2】　如图 2.3 所示，过已知点 K 作一水平线平行于已知平面△ABC。

解：分析：过点 K 可作无数条平行于已知平面的直线，其中只有一条是水平线。可先作属于已知平面的任一水平线 CD 为辅助线；再过点 K 作直线 EF 平行于 CD。因 EF 平行于属于定平面的水平线 CD，所以 EF 一定也是水平线，且平行于定平面△ABC。

2.1.2　平面与平面平行

从初等几何知道，如果一个平面内的两相交直线对应地平行于另一个平面内的相交两直线，则这两个平面相互平行。据此，我们就可以把两平行平面的问题转化为平面上两相交直线对应平行的问题。

如图 2.4 所示，两对相交直线 AB、BC 和 DE、EF 分别属于平面 P 和平面 Q，且它们对应平行，则平面 P 和平面 Q 相互平行。

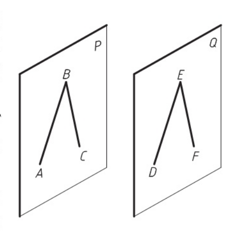
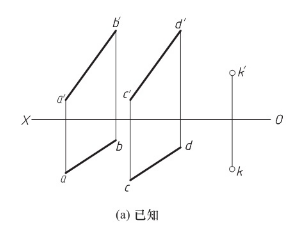
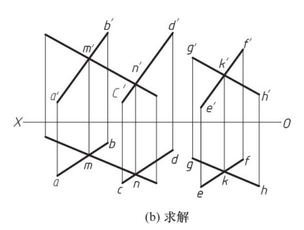


图 2.4　两平面平行的几何条件

【例 2-3】　如图 2.5(a)所示，已知由平行两直线 AB 和 CD 给定的平面，试过平面外一点 K 作一平面平行于已知平面。



(a) 已知



(b) 求解

图 2.5　作平面与已知平面平行

解：只要过点 K 作一对相交直线对应地平行于属于已知平面的一对相交直线即可，因此需要先有一对属于已知平面的相交直线。但题中只给了一对平行线，所以再作一条属于该平面的直线 MN 与它们相交。然后过点 K 作一对相交直线 EF、GH，使它们分别平

行于直线 AB 和 MN，相交两直线 EF 和 GH 确定的平面即为所求。

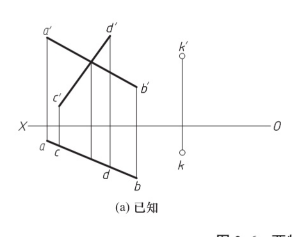
作图过程如下。

(1) 在 ab、cd 上取 m、n 两点并连接 。

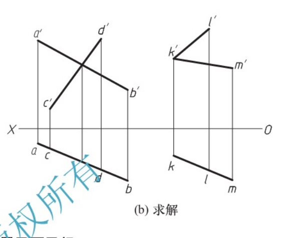
(2) 对应地求出 $m'n'$。

(3) 在正面投影中过 k' 作 $e'f'$、$g'h'$ 分别平行于 $a'b'$、$m'n'$，在水平投影中过 k 作 ef、gh 分别平行于 ab、mn，由 EF 与 GH 相交所确定的平面为所求，如图 2.5(b)所示。

【例 2-4】 已知平面 $ABCD$ 为一铅垂面，过点 K 求作另一平面与其平行，如图 2.6 所示。



(a) 已知



(b) 求解

图 2.6　两特殊位置平面平行

解：与铅垂面平行的平面必定还是铅垂面，由于铅垂面的水平投影具有积聚性，为保证所作平面与已知平面平行，必须使所做平面的水平投影(具有积聚性)与已知平面的水平投影平行，这样才能保证两个平面平行。

作图过程如下。

(1) 在水平投影图中过点 k 作一与平面 $ABCD$ 的水平投影平行的直线，表示所求平面的水平投影。

(2) 其正面投影可以由任意一个平面图形来表示，也可用两条相交直线来表示，但必须保证平面图形或相交直线上各点的水平投影均在其有积聚性的水平投影上。图 2.6(b) 中是用相交两直线 KL、KM 来表示的。

2.2　直线与平面相交、平面与平面相交

直线与平面相交只有一个交点，它是直线和平面的共有点，即它既属于直线，又属于平面。两平面的交线是一直线，交线为两平面的共有线。欲找出这一直线的位置，只要找出属于它的两点(或找出一点和交线的方向)就可以了。求直线与平面的交点及平面与平面的交线，可分成以下几种情况分别进行讨论。

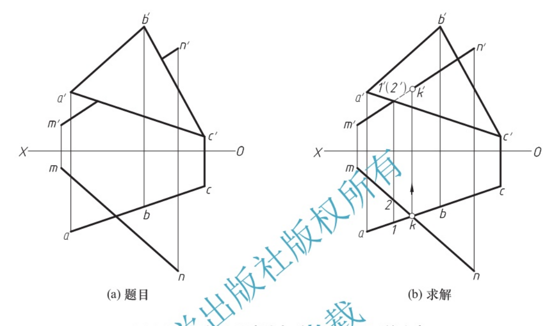
这里研究相交问题主要是求出交点或交线的投影。求交点或交线时，首先要空间分析，然后进行投影作图。作图时，除了求出交点或交线的投影，还要判别直线或平面的可见性。

2.2.1　特殊位置平面与一般位置直线相交

直线与平面相交，交点是共有点，既属于平面又属于直线，如果平面处于特殊位置

(与投影面平行或垂直)，直线处于一般位置，求交点时可利用平面投影的积聚性来求。

图 2.7(a)所示为一般位置直线 MN 和铅垂面 ABC 相交。根据共有性，在水平面的投影一定相交，$\triangle ABC$ 的水平投影 abc 积聚成一直线。交点 K 既然是共有点，那么它的水平投影 k 一定属于$\triangle ABC$ 平面的水平投影和直线 MN 的水平投影。因此水平投影 abc 与 mn 的交点 k 便是交点 K 的水平投影。有了交点 K 的水平投影 k 和直线 MN 的正面投影 $m'n'$，便可求出交点 K 的正面投影 k'(读者自行分析)。点 $K(k, k')$ 即为直线 MN 和$\triangle ABC$ 的交点，如图 2.7(b)所示。



(a) 题目　　(b) 求解

图 2.7　一般位置直线与特殊位置平面的交点

交点求出后还必须判断投影的可见性，判断可见性的一般方法是利用交叉直线的重影点。例如，判断图 2.7 中正面投影的可见性时，可找出交叉直线 MN 与 AC 的正面投影的重影点Ⅰ(1, 1')Ⅱ(2, 2')，Ⅰ在 AC 边上，Ⅱ在直线 MN 上。然后在水平投影中比较两点 Y 坐标的大小，坐标大者可见，小者不可见。现在 $Y_{\text{I}}>Y_{\text{II}}$，即表示 AC 在前可见，ⅡK 在平面之后不可见，故 $2'k'$是虚线。交点 K 是直线可见与不可见的分界点，所以 k'以右与平面投影重叠的部分是可见的。

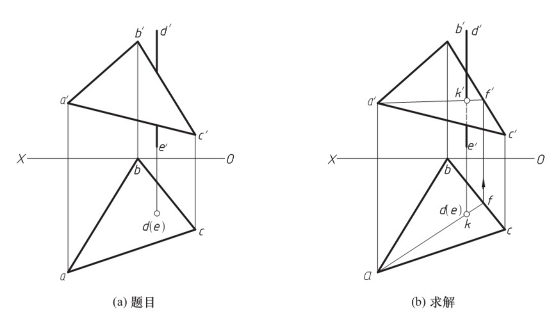
应当指出：只有同面投影重叠的部分才需要判别可见性，不重叠的部分都是可见的，因此，水平投影中的 mn 都是可见的。

2.2.2　特殊位置直线与一般位置平面相交

如果直线处于特殊位置(投影面垂直线)，平面处于一般位置，求交点时可利用直线投影的积聚性来求。

如图 2.8(a)所示，铅垂线 DE 与一般位置平面$\triangle ABC$ 相交，DE 的水平投影 de 积聚为一点。

由于交点 K 属于直线，它的水平投影 k 一定与该直线水平投影 de 重合。求其正面投影时，再根据交点的共有性，K 点一定从属于$\triangle ABC$ 平面，所以在水平投影中过 k 作直线 af，f 在 bc 上，求出 AF 的正面投影 $a'f'$ 与 $d'e'$的交点即为 K 的正面投影 k'。可见性的判别请读者自行分析。

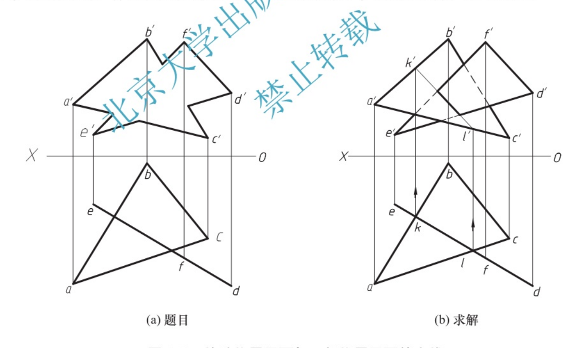


(a) 题目　　(b) 求解

图 2.8　特殊位置直线与一般位置平面相交

2.2.3　特殊位置平面与一般位置平面相交

两平面相交，其交线为一直线。由于交线是两平面的共有直线，交线上的点是两平面的共有点。所以只要能够确定两平面的两个共有点，或者一个共有点和交线的方向，即可作出两平面的交线。作出交线的投影后，还要判别两平面重叠部分的可见性。



(a) 题目　　(b) 求解

图 2.9　特殊位置平面与一般位置平面的交线

如何来求两平面的交线呢？当相交两平面之一为特殊位置平面时，可利用它的积聚性投影直接求出交线上的两个点(即为积聚性投影与另一平面两个边的投影交点 k、l)，如图 2.9(b)所示，由于△DEF 是铅垂面，其水平投影 def 积聚为一条直线，两平面交线的水平投影必与 def 重合，但交线又是△ABC 内的直线，其水平投影必有两点分别位于△abc 的某两边或其延长线上。可见，def 与 ab、ac 的交点 k、l 即为两平面交线上两点的水平投影。据 k、l 分别在 $a'b'$、$a'c'$边上，求出 k'、l'，kl、$k'l'$即为所求。

图 2.9 还判断了可见性，判断方法与图 2.7 相同，不再赘述。但要注意，交线是可见与不可见的分界线，并且只有同面投影图形重叠时才存在可见性的判断问题。它们不重叠的部分都是可见的。因此，水平投影△*abc* 都可见，无需判断。

2.2.4 一般位置直线与一般位置平面相交

由于一般位置直线与一般位置平面的投影均不具有积聚性，因此二者相交时不能在投影图上直接求出交点来，必须利用辅助平面，经过一定的作图过程才能求得。

如图 2.10 所示，用辅助平面法求一般位置直线 *DE* 与一般位置平面△*ABC* 的交点，其具体作法如下。

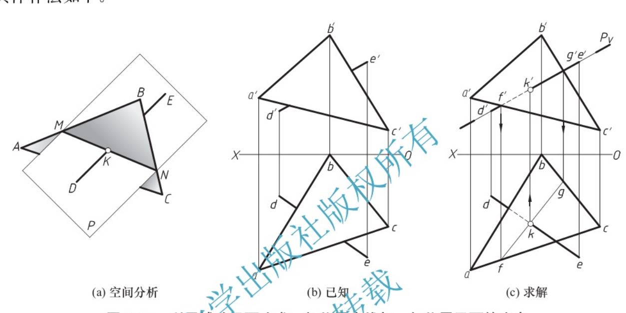


图 2.10 利用辅助平面法求一般位置直线与一般位置平面的交点

(1) 包含已知直线 *DE* 作与投影面垂直的辅助平面 *P*。

(2) 求辅助平面 *P* 与已知平面△*ABC* 的交线 *MN*。

(3) 求交线与已知直线的交点 *K* 即为所求。

从求已知平面与辅助平面交线的方便考虑，辅助平面一般应作特殊位置平面。

【例 2-5】 求 *DE* 与△*ABC* 的交点，如图 2.10(b)所示。

解：作图过程如下。

(1) 包含 *DE* 作正垂面 *P*，即包含 $d'e'$作平面 P_V。

(2) 求两平面的交线 *FG*(fg，$f'g'$)。

(3) 求 *DE* 与 *FG* 的交点 *K*(k，k')。k 为 de 与 fg 的交点，根据 k 可求出 k'。

(4) 判断可见性。判断方法与前同，结果如图 2.10(c)所示。

【例 2-6】 过点 *A* 作 *AF* 使其与交叉直线 *BC*、*DE* 都相交，如图 2.11(a)所示。

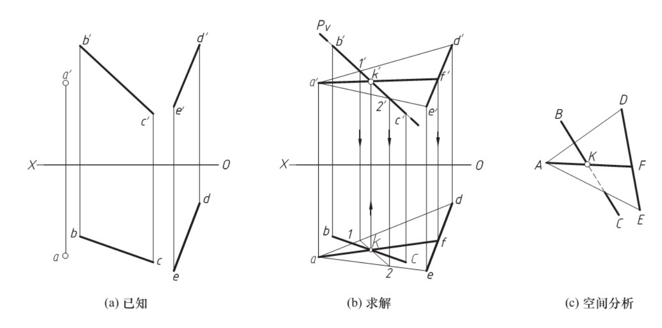
解：由点 *A* 与直线 *DE* 确定了一个平面，由于 *BC* 与 *DE* 交叉，则 *BC* 与平面 *ADE* 相交，求其交点 *K*，连接直线 *AK*，该直线在平面 *ADE* 内，与 *DE* 必相交，且经过了 *BC* 上的 *K* 点，与 *DE* 也一定相交，如图 2.11(c)所示。

作图过程如下。

(1) 作△*ADE*。

(2) 求 *BC* 与△*ADE* 的交点 *K*。

(3) 连 *AK* 并延长使与 *DE* 交于 *F*，则 *AF* 即为所求，如图 2.11(b)所示。



(a) 已知　　(b) 求解　　(c) 空间分析

图 2.11　过点 A 作 AF 与交叉两直线相交

2.2.5　一般位置平面与一般位置平面相交

求两一般位置平面交线的方法有线面交点法和三面共点法。

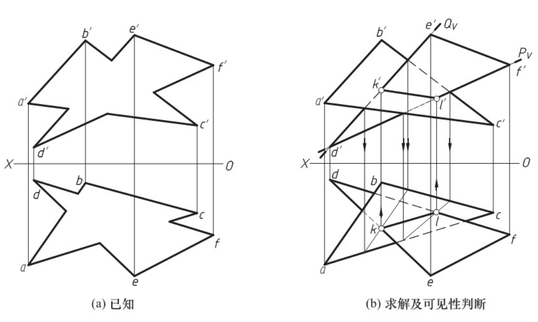
1. 线面交点法求交线

当相交两个平面都用平面图形表示，其同面投影有互相重叠的部分时，便表明其中一个平面内的某些直线与另一个平面直接相交，因此可用求直线和平面交点的方法找出交线上的两个点。

【例 2－7】 求△ABC 与△DEF 的交线，如图 2.12(a)所示。

解： 图示两三角形的同面投影有相互交叠的部分，可用线面交点法求交线上的点。本例选 DE、DF 作直线求其与△ABC 的交点。

作图过程如图 2.12(b)所示。



(a) 已知　　(b) 求解及可见性判断

图 2.12　线面交点法求两平面的交线

(1) 包含 DE 作正垂面 Q，求出 DE 与△ABC 的交点 K。

(2) 包含 DF 作正垂面 P，求出 DF 与△ABC 的交点 L。

(3) 连接 KL，并判断可见性。

2. 三面共点法求交线

图 2.13 所示为用三面共点法求两平面的共有点的示意图。图中已给出两个平面 R 和 S，为求该两平面的共有点，取任意辅助平面 P，它与平面 R、S 分别交于直线ⅠⅡ和ⅢⅣ，而ⅠⅡ和ⅢⅣ的交点 K_1 为三面所共有，即是 R、S 两平面的共有点。同理作辅助平面 Q 可再找出一个共有点 K_2。K_1K_2 即为 R、S 两平面的交线。

图 2.14 中三角形 ABC 和一对平行线 DE、GF 各确定一平面。为求该两平面的交线，根据图 2.13 所示的原理，取水平面 P 为辅助平面。利用积聚性，分别作出平面 P 与原有两平面的交线ⅠⅡ(12，$1'2'$)，ⅢⅣ(34，$3'4'$)。ⅠⅡ和ⅢⅣ的交点是 K_1(k_1，k_1')即为一个共有点。同理，以辅助平面 Q 再求出一共有点 K_2(k_2，k_2')，K_1K_2 即为所求的交线。

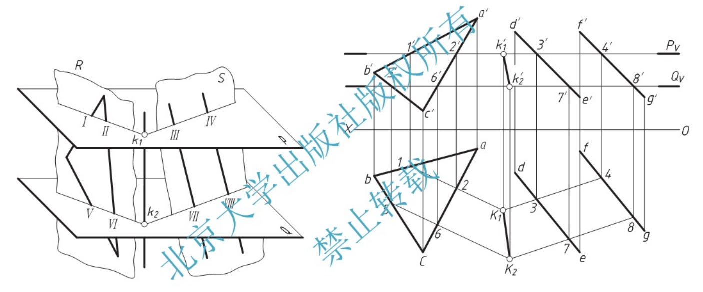


图 2.13　三面共点法求交线示意图　　　**图 2.14　三面共点法求交线投影作图**

辅助平面 P、Q 是任意取的，为了作图简便，应取特殊位置面为辅助面，这里取的是水平面。若取正平面或其他特殊位置平面，则作图过程也一样。

2.3　直线与平面垂直、平面与平面垂直

垂直分为直线与平面垂直和平面与平面垂直两个问题。

2.3.1　直线与平面垂直

由初等几何可知：如果一条直线和一个平面内的两条相交直线垂直，那么这条直线垂直于这个平面(也就垂直这个平面内的所有直线)。这条定理是解决有关直线和平面垂直的依据。如图 2.15 所示，直线 L 与 P 平面内两相交直线 AB、CD 垂直，则 $L \perp P$ 面。它们的投影又有什么特点呢?

如图 2.16 所示，直线ⅠⅡ⊥△ABC 平面，则ⅠⅡ必垂直于平面内的所有直线，包括

正平线 AE 和水平线 BD(不一定是相交垂直)。根据直角定理可知，由于 BD 是水平线并与直线 Ⅰ Ⅱ 垂直，所以 $12\perp bd$，同理 AE 是正平线也与直线 Ⅰ Ⅱ 垂直，进而有 $1'2'\perp a'e'$。

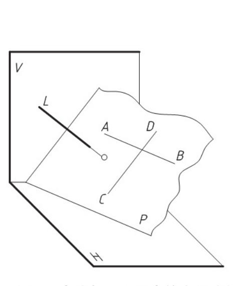


图 2.15　直线与平面垂直的空间分析

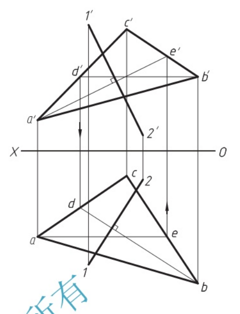


图 2.16　直线垂直于平面的投影作图

定理：若一直线垂直于一个平面，则直线的水平投影必垂直于该平面上水平线的水平面投影，直线的正面投影必垂直于该平面上正平线的正面投影。反之也成立。

【例 2-8】 如图 2.17(a)所示，过点 E 作直线垂直△ABC，并求垂足 K。

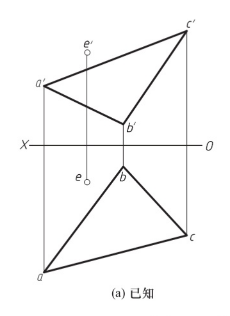
解：先根据直线与平面垂直的投影特性，过 E 点作该平面的垂线，然后求垂线与平面的交点。

作图过程如图 2.17(b)所示。

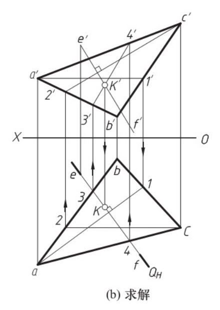
(1) 过点 A 作水平线 AⅠ$/\!/H$ 面，过点 C 作正平线 CⅡ$/\!/V$ 面。

(2) 过点 E 作 EF 垂直于 AⅠ、CⅡ，即 $ef\perp a1$，$e'f'\perp c'2'$。

(3) 求 EF 与△ABC 的垂足：包含 EF 作平面 $Q\perp H$ 面，求 Q 面与△ABC 的交线ⅢⅣ，与 EF 的交点 $K(k,\ k')$，即为所求垂足。



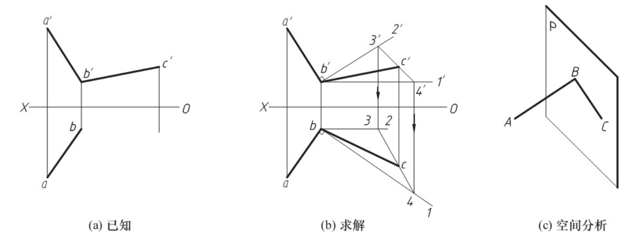
(a) 已知



(b) 求解

图 2.17　过点 E 作直线垂直△ABC

【例 2-9】 已知 $AB \perp BC$，求 BC 的水平投影，如图 2.18(a)所示。



(a) 已知　(b) 求解　(c) 空间分析

图 2.18　用作直线垂面和在平面内求点的方法求 *bc*

解：因为 $AB \perp BC$，则 BC 位于过点 B 与 AB 垂直的平面内，如图 2.18(c)所示，本例可过点 B 作平面(BⅠ、BⅡ)垂直于 AB，BⅠ、BⅡ为过点 B 的两条相交直线，这两条相交直线中 BⅠ为水平线，BⅡ为正平线。然后在该平面内求 C 点。

作图过程如图 2.18(b)所示。

(1) 过点 B 作水平线 BⅠ$\perp AB$，即 $b1 \perp ab$，作正平线 BⅡ$\perp AB$，即 $b'2' \perp a'b'$；

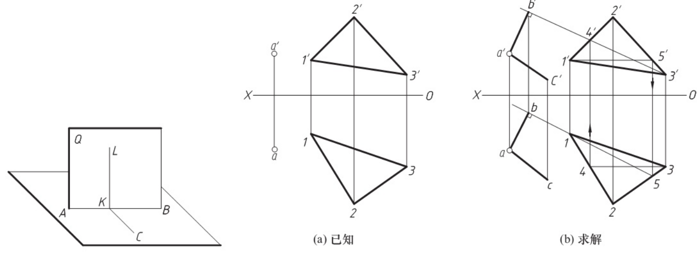
(2) 由于在 BⅠ、BⅡ所决定的平面内含点 C，所以过点 C 作直线ⅢⅣ分别交于直线 BⅠ于Ⅳ点、交 BⅡ于Ⅲ点，即过 c' 作 $3'4'$；

(3) 由于 c 在 34 上求出 c，则 bc 为所求。

2.3.2　平面与平面垂直

从初等几何知道，若一直线垂直一个平面，则包含这条直线的所有平面都垂直于该平面。反之，若两平面相互垂直，则由属于第一个平面的任意一点向第二个平面所做的垂线一定属于第一个平面。如图 2.19 所示，过已知平面内一点(L)作垂直于第二个平面的直线(LK)，必在第一个平面内。

【例 2-10】 含点 A 作平面垂直于△ⅠⅡⅢ，如图 2.20(a)所示。



(a) 已知　(b) 求解

图 2.19　两平面垂直的条件

图 2.20　过平面外一点作平面与已知平面垂直

解：含点 A 只能作一直线垂直于定平面，但是含此垂线可作无数个平面，即本题有无数解。下面作其一解。

作图过程如图 2.20(b)所示。

(1) 在△ⅠⅡⅢ内作ⅠⅤ∥H 面，ⅢⅣ∥V 面。

(2) 含点 A 作直线与ⅠⅤ、ⅢⅣ垂直($ab \perp 15$，$a'b' \perp 3'4'$)，即 $AB \perp$△ⅠⅡⅢ。

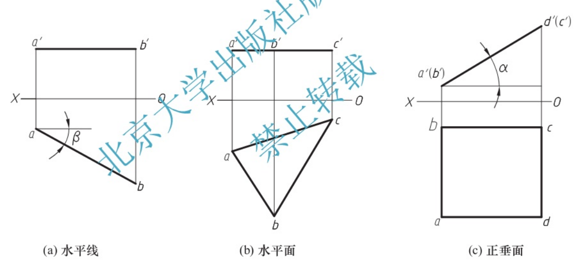
(3) 含点 A 作任意直线 AC，则 AB、AC 所决定的平面就与△ⅠⅡⅢ垂直。

2.4　换　面　法

2.4.1　换面法的基本概念

在解决工程实际问题时，经常遇到几何元素及其相对位置的度量问题。例如，求线段的实际长度，求平面图形的实形，求两平面之间的距离等。这些问题可以在投影图上用图解的方法来解决。

由前面所学的内容可知，当几何元素对投影面处于特殊位置时，在投影图上可以直接得到直线的实长、平面的实形、直线或平面对投影面的倾角等，如图 2.21 所示。



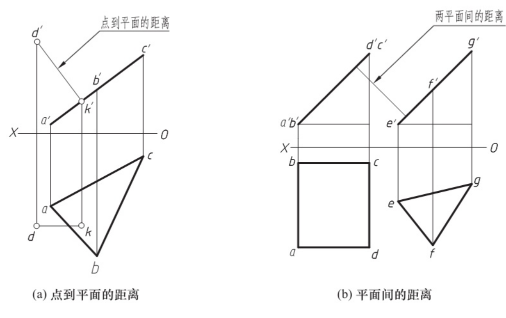
(a) 水平线　　(b) 水平面　　(c) 正垂面

图 2.21　特殊位置几何元素投影的可度量性

同样，当平面对投影面处于特殊位置时，则空间一点到平面的距离，两平行平面之间的距离，也可以在投影图中直接得到，如图 2.22 所示。

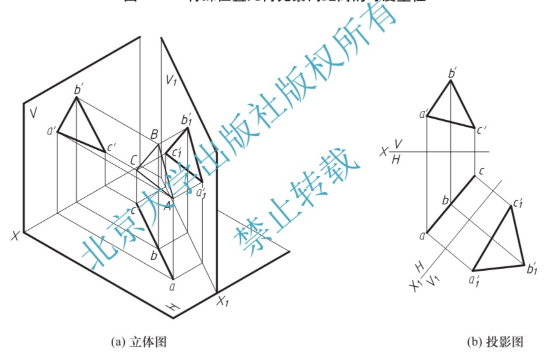
但是，当几何元素对投影面处于一般位置时，在投影图上就不可能直接得到它们的实长、实形、距离和夹角等。为了使空间几何元素获得所需要的投影特性，可以更换投影面，使它们对新投影面处于某种特殊位置便于解题。

图 2.23(a)所示为一铅垂面△ABC，该三角形在 V 面和 H 面的投影体系(以后简称 V/H 体系)中的两个投影都不反映实形。为了使新投影反映实形，取一个平行于三角形且垂直 H 面的投影面 V_1 来代替 V 面，则新的 V_1 面和不变的 H 面构成一个新的两面体系 V_1/H 体系。三角形在 V_1/H 体系中 V_1 面的投影△$a_1'b_1'c_1'$ 就反映三角形的实形。再以 V_1 面和 H 面的交线 X_1 为轴，使 V_1 面旋转至与 H 面重合，就得出 V_1/H 体系的投影图，如图 2.23(b)所示。



(a) 点到平面的距离　　(b) 平面间的距离

图 2.22　特殊位置几何元素间距离的可度量性



(a) 立体图　　(b) 投影图

图 2.23　换面法的概念

通过更换投影面改变空间几何元素或空间形体与投影面相对位置的方法，称为换面法。

新投影面的选择必须具备以下两个基本条件：

(1) 新的投影面必须与空间几何元素处于有利于解题的特殊位置。

(2) 新投影面必须垂直于某个原有的投影面，可以组成互相垂直的新的两投影面体系。

2.4.2　点的投影变换规律

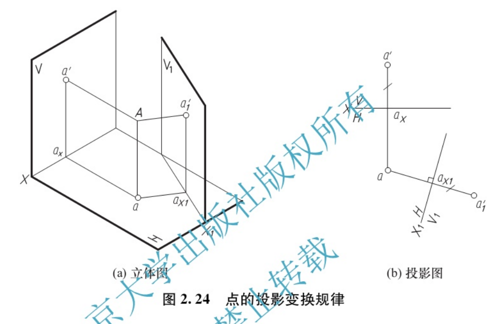
1. 点的一次变换

点是最基本的几何元素，要学会运用换面法解决问题，首先学习点的投影变换规律。

现在来研究更换正立投影面时，点的投影变换规律。图 2.24(a)表示水平投影面 H 保持不变，用铅垂面 V_1 代替 V 面作为新的正立投影面时，空间点 A 在旧投影面体系 V/H 和新投影面体系 V_1/H 中的投影情况，V_1 面和 H 面的交线为新体系中的投影轴，用 X_1 表示，点 A 在 V_1 面上的新投影用 a_1'表示；这样，点 A 在新旧投影体系中的投影分别为(a，a_1')和(a，a')。

由于这两个体系具有公共的水平投影面 H，因此点 A 到 H 面的距离 z 坐标在新旧投影体系中都是相同的，即：$Aa=a_1'a_{x1}=a'a_x$。

当 V_1 面绕 X_1 轴旋转到与不变的投影面 H 面重合时，根据点的投影规律可知：aa_1'必定垂直于 X_1 轴，这与 aa' 垂直 X 轴的性质是一样的，即 $aa_1' \perp X_1$ 轴。展开后的投影图如图 2.24(b)所示。



(a) 立体图　　　　(b) 投影图

图 2.24　点的投影变换规律

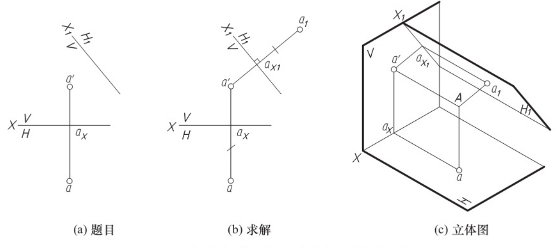
根据上述分析，可以得出点的投影变换规律如下：

(1) 点的新投影与不变投影的连线，垂直于新投影轴。

(2) 点的新投影到新投影轴的距离，等于被更换的投影到旧投影轴的距离。

当新投影轴的位置确定以后，利用上述规律可以由点的两个旧投影求出点的新投影。

【例 2-11】 如图 2.25(a)所示，已知点 A 的两个投影 a 和 a'，以及用 H_1 面更换 H 面时的新投影轴 X_1 的位置，要求作出新投影 a_1。



(a) 题目　　　　(b) 求解　　　　(c) 立体图

图 2.25　根据点的旧投影求新投影的作图方法

解：如图 2.25(b)所示，作图步骤如下。

(1) 过不变投影 a' 向 X_1 轴作垂线。

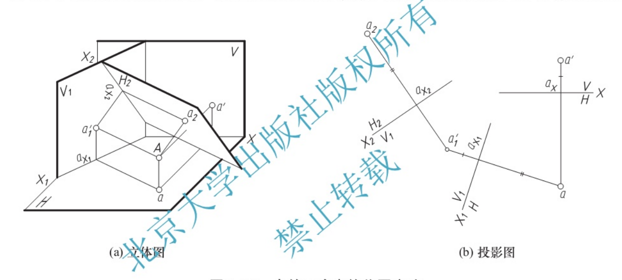
(2) 从垂足 a_{x1}起，沿此垂线向右上方截取长度等于 aa_x的线段，便得到新投影 a_1。

图 2.25(c)表示点 A 在新、旧投影面体系中投影的空间情况。

2. 点的两次变换

由于新投影面应具备前面提出的两个条件，在运用换面法解决某些实际问题时，更换一次投影面，有时不足以解决问题，必须连续更换两次或多次投影面。第二次换面所用的新投影面必须与第一次换上来的新投影面垂直，它们组成新投影面体系；求第二次变换的新投影时，则以第一次变换建立起来的新体系中的两个投影作为原有投影，运用点的投影变换规律作图。

图 2.26(a)所示为点 A 进行二次投影变换的空间情况，第一次用 V_1 面更换 V 面，第二次用 H_2面更换 H 面，从而在第二次变换后构成 V_1/H_2 新体系，新投影轴则用 X_2 表示。图 2.26(b)所示为投影图，图中着重表示了求第二次变换后新投影 a_2 的作图方法。



(a) 立体图　　(b) 投影图

图 2.26　点的二次变换作图方法

2.4.3　四个基本问题

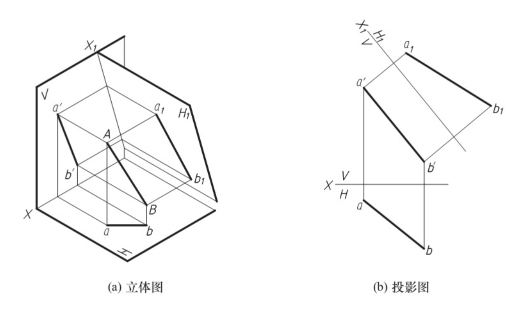
把一般位置直线或平面变为特殊位置，是解题时经常要遇到的问题。工程中所遇到的图解问题很多都可转化为下述四个基本问题的形式来解决，因此掌握下述基本问题的换面方法是极其重要的。

1. 将一般位置直线变为投影面平行线

图 2.27(a)表示将一般位置直线 AB 变为投影面平行线的情况。在这里，新投影面 H_1 平行于直线 AB，且垂直于原有投影面 V，直线 AB 在新投影面体系 V/H_1 中为水平线；图 2.27(b)所示为投影图。作图时，先在适当位置画出与不变投影 $a'b'$平行的新投影轴 X_1，然后运用投影变换规律求出 A、B 两点的新投影 a_1 和 b_1，再连成直线 a_1b_1。

2. 将一般位置直线变为投影面垂直线

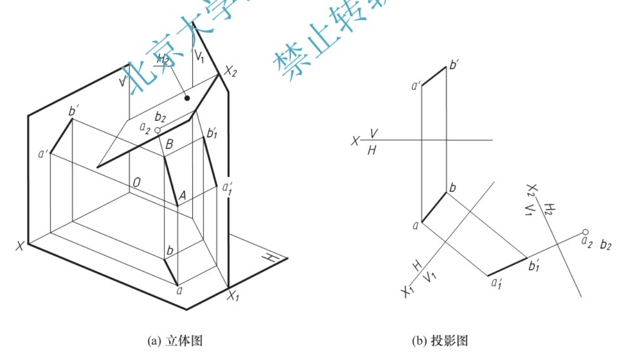
若想把一般位置直线变为投影面垂直线，显然只换一次投影面是不行的，因为新设的投影面如果直接与一般位置直线垂直，那么新投影面也是一般位置平面，它与原体系中任



(a) 立体图　　(b) 投影图

图 2.27　将一般位置直线变为投影面平行线

何投影面都不垂直，因此不能构成新的投影体系。图 2.28(a)表示将一般位置线 AB 变为投影面垂直线的情况。由于新投影面 V_1 平行于一般位置直线 AB，所以直线 AB 在新投影面体系 V_1/H 中为正平线，再用新投影面 H_2 更换 H 面构成新投影体系 V_1/H_2，使得 H_2 同时垂直于 AB 和 V_1 面，这样通过两次换面将一般位置平面变为投影面垂直面。图 2.28(b)所示为投影图。作图时，先在适当位置画出与水平投影 ab 平行的新投影轴 X_1，再应用投影变换规律在 V_1/H 体系中作出直线在 V_1 面上的新投影 $a_1'b_1'$，同理，再画出与 $a_1'b_1'$ 垂直的新投影轴 X_2 构成新投影体系 V_1/H_2，求出 a_2b_2(积聚为一点)。



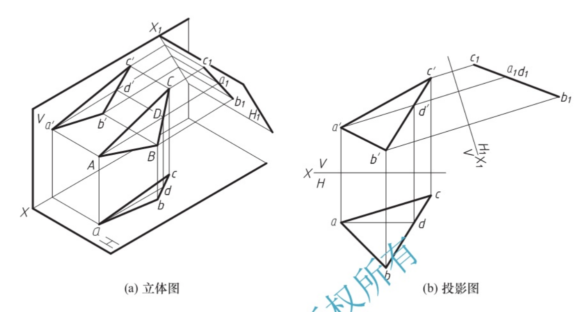
(a) 立体图　　(b) 投影图

图 2.28　将投影面平行线变为投影面垂直线

3. 将一般位置平面变为投影面垂直面

图 2.29(a)表示将一般位置平面△ABC 变为新投影面体系中的铅垂面的情况。由于新投影面 H_1 既要垂直于△ABC 平面，又要垂直于原有投影面 V，因此，它必须垂直于

△ABC平面内的正平线。图2.29(b)所示为投影图。作图时，先在△ABC平面内取一条正平线AD作为辅助线，再将AD变为新投影面体系V/H_1中的铅垂线，就可使△ABC平面变为V/H_1中的铅垂面。同理，也可以将△ABC平面变为新投影面体系V_1/H中的正垂面。



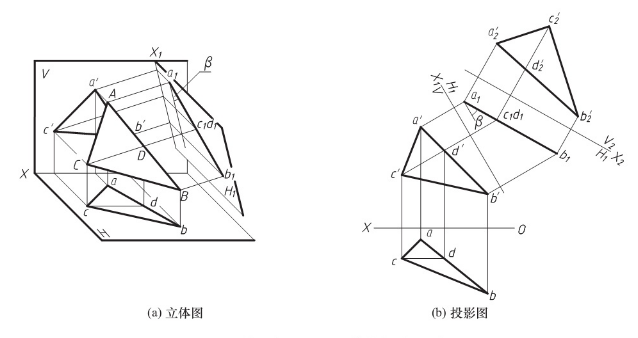
(a) 立体图　　(b) 投影图

图2.29　将一般位置平面变为投影面垂直面

4. 将一般位置平面变为投影面平行面

若想把一般位置平面变为投影面平行面，显然只换一次投影面是不行的，图2.29表示将一般位置平面△ABC变为投影面垂直面的情况，图2.23表示将垂面△ABC变为投影面平行面的情况。所以将一般位置平面变为投影面平行面需要两次换面：首先将一般位置平面换成投影面垂直面；再将投影面垂直面换成投影面平行面。具体换法不再赘述，如图2.30所示。

应用换面法解题时，离不开上述四个基本作图问题，因此必须熟练掌握它们。



(a) 立体图　　(b) 投影图

图2.30　将一般位置平面变为投影面平行面

2.4.4　换面法的应用

前面介绍了空间几何元素点、直线及平面的平行、相交及垂直的问题。但从工程实际抽象出来的几何问题，如距离角度的度量等，并不是单纯的平行、相交、垂直问题而多是较复杂的综合问题，有时应用换面法求解较为简捷方便。

（1）距离的度量。常见的有点到点之间的距离、点到直线（包括两平行线）之间的距离、两交叉直线之间的距离，点到面（包括直线平行平面和两平行平面）之间的距离。

（2）角度的度量。常见的有相交两直线之间的夹角、直线与平面之间的夹角及两平面之间的夹角。

（3）综合问题的解法。解题时，首先要根据题意进行空间分析，目的在于确定给出的空间几何元素（或者其中的一部分）与新投影面所应处的相对位置，即当它们处于怎样的相对位置时，才能在投影图上最容易求得解答。然后再根据四个基本问题，确定变换的次数和变换的步骤。最后进行具体作图。为了使图形清晰易看，应尽量避免作新投影时所画的图线与旧投影中的图线交错重叠，为此，作图时必须将新投影轴画在适当位置。

【例 2－12】　如图 2.31(a)所示，直线 MN 与△ABC 平行且相距 12mm，已知△ABC 的两面投影及 MN 的正面投影，求出 MN 的水平投影。

（1）空间分析。因为直线 MN 平行于△ABC 且相距 12mm，所以直线 MN 必定位于与△ABC 平行且相距 12mm 的平面上。用换面法经一次换面可使△ABC 平面变成投影面的垂直面，再作与△ABC 平行且相距 12mm 的 P 平面，MN 必在 P 平面内。

（2）作图。将△ABC 变为投影面的垂直面（垂直新投影面 H_1）；作 $P_{H1} \parallel a_1b_1c_1$，且相距 12mm；因为 MN 在 P 平面内，而 P 平面在 H_1 面上的迹线 P_{H1} 有积聚性，可以直接求出 m_1n_1；根据点的变换规律，返回到 H 面上，求出 mn，如图 2.31(b)所示。

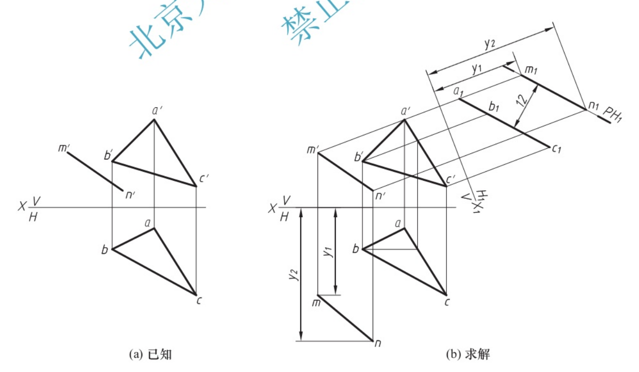


图 2.31　求直线 MN 的水平投影

【例 2－13】　如图 2.32(a)所示，已知线段 AB 和线外一点 C 的两个投影，试求点 C 至直线 AB 的距离，并补全距离的投影。

解：

（1）空间分析。求距离的题就是求实长的问题，因此过点 C 作 AB 的垂线必须平行于新投影面。解题方法有两种形式：①将直线 AB 换成投影面垂直线；②将直线 AB 与点 C 所决定的平面换成投影面平行面。

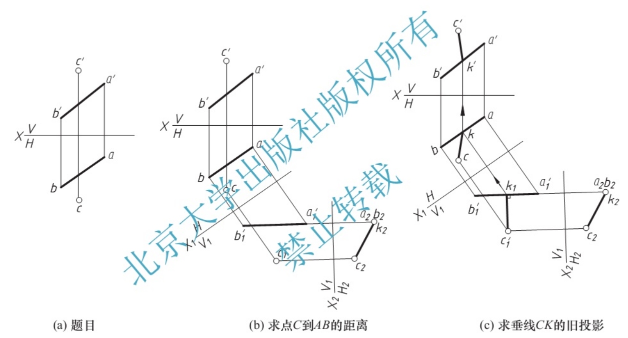
（2）作图。

解法一：将直线 AB 换成投影面垂直线。

① 先将 AB 变为正平线（平行于 V_1），然后将此正平线变为铅垂线（垂直于 H_2），点 C 的投影也随着变换过去，线段 c_2k_2 即等于点 C 至直线 AB 的距离，如图 2.32(b)所示。

② 由于 AB 的垂线 CK 在新体系 V_1/H_2 中平行于 H_2 面，因此它在 V_1 面上的投影 $c_1'k_1'$ 应与 X_2 轴平行，而与 $a_1'b_1'$ 垂直。据此，过 c_1' 作 X_2 轴的平行线，就可得到 k_1'，利用直线上点的投影规律，由 k_1' 即可求出 k 和 k'，如图 2.32(c)所示。

解法二：将直线 AB 与点 C 所决定的平面换成投影面平行面来解此题，建议读者来作。



(a) 题目　　(b) 求点C到AB的距离　　(c) 求垂线CK的旧投影

图 2.32　求点到直线的距离

【例 2-14】 如图 2.33(a)所示，求两平行直线 AB 和 CD 之间的距离。

解：该题所求为两平行直线的公垂线实长，其实质与求点到直线距离相同。

解法一：如图 2.33(b)所示。

① 将两平行直线 AB 和 CD 变换为投影面平行线。

② 在新投影体系 H/V_1 中，作出两平行直线 AB 和 CD 的公垂线 EF，先确定 $e'f'$（位置可任意定），再求出 ef。

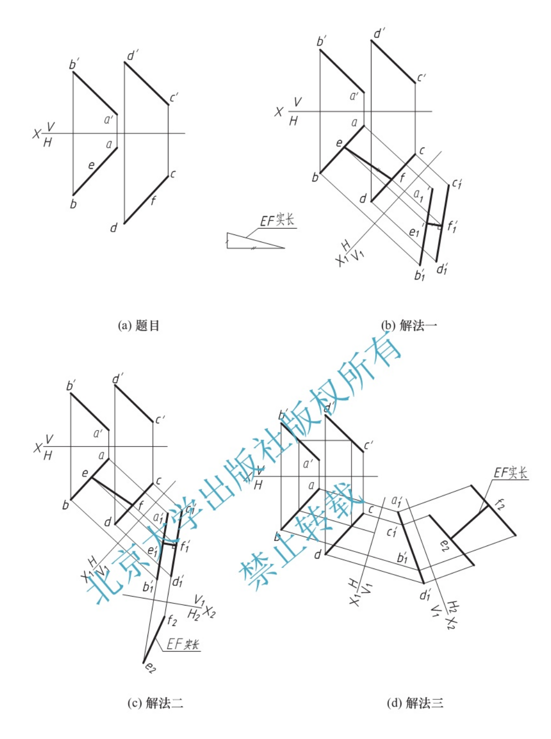
③ 用直角三角形法求出线段 EF 的实长。

解法二：如图 2.33(c)所示。

① 前两步骤与解法一的前两步骤相同。

② 再作一次换面，在 V_1/H_2 投影体系中可直接求出公垂线实长。

解法三：如图 2.33(d)所示，即通过两次换面求出两平行直线 AB 和 CD 所确定的平面实形，在平面实形内求解公垂线。



(a) 题目　(b) 解法一

(c) 解法二　(d) 解法三

图 2.33　求平行两直线的距离

从例 2-13 和例 2-14 可以看出，当需要进行两次或两次以上变换时，为了使每更换一次投影面都能为建立最便于解题的新投影面创造更有利的条件，V 面和 H 面必须交替更换，或者是按 $V/H \rightarrow V_1/H \rightarrow V_1/H_2 \rightarrow V_3/H_2 \rightarrow \cdots$ 变换，或者是按 $V/H \rightarrow V/H_1 \rightarrow V_2/H_1 \rightarrow V_2/H_3 \rightarrow \cdots$ 变换。

复习思考题

1. 试述直线与平面平行的几何条件、两平面平行的几何条件。
2. 试述直线垂直于平面的几何条件。在投影图上如何判断直线与平面是否垂直？

3. 当直线或平面对投影面处于特殊位置时，怎样求作直线与平面的交点，以及两平面的交线？

4. 什么叫换面法？新投影面如何选择？

5. 试述用换面法把一般位置直线变为投影面平行线和投影面垂直线的步骤。

6. 试述用换面法把一般位置平面变为投影面垂直面和投影面平行面的步骤。



第3章 立体的投影

3.1　立体及其表面上的点与线

立体由其表面所围成，可分为两类：表面都是平面的立体称为平面立体；表面是曲面或曲面与平面的立体称为曲面立体。

3.1.1　平面立体

平面立体由若干多边形所围成，因此，绘制平面立体的投影，可归结为绘制它的所有多边形表面的投影，也就是绘制这些多边形的边和顶点的投影。多边形的边是平面立体的轮廓线，分别是平面立体的每两个多边形表面的交线。当轮廓线的投影为可见时，画粗实线；不可见时，画虚线；当粗实线与虚线重合时，应画粗实线。

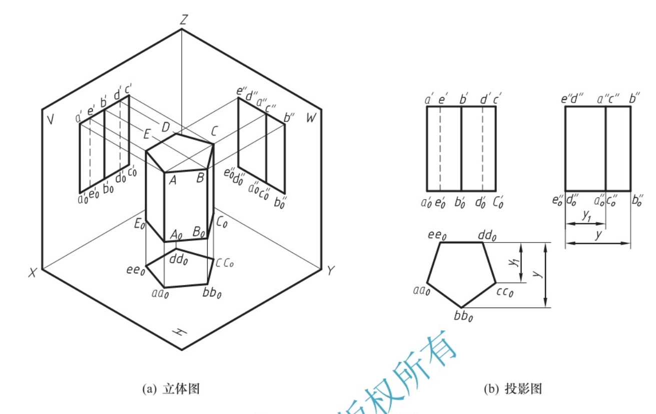
工程上常用的平面立体是棱柱和棱锥(包括棱台)。

图 3.1 所示是一个正五棱柱的立体图和投影图。本书从本章开始，在投影图中不再画投影轴。只要按照各点的正面投影和水平投影位于铅垂的投影连线上，正面投影与侧面投影位于水平的投影连线上，以及任一点的水平投影和侧面投影保持前后方向的宽度相等和前后对应的三条原则绘图，投影轴是不必画的，在实际应用中通常也不画投影轴。

如图 3.1(a)所示，正五棱柱的顶面和底面都是水平面，它们的边分别都是四条水平线和一条侧垂线，棱面是四个铅垂面和一个正平面，棱线是五条铅垂线。图 3.1(b)所示为正五棱柱的投影图，请读者自行阅读分析棱线和棱面的投影及其可见性。

在图 3.1(b)中，请特别注意水平投影与侧面投影之间必须符合宽度相等和前后对应的关系。例如，前棱线与后棱面之间的宽度，左、右棱线与后棱面之间的宽度，分别为 y 和 y_1；并且，前棱线和左、右棱线都分别在后棱面之前。这种水平投影和侧面投影之间的关系，如图 3.1(b)所示，直接量取相等的距离作图。

图 3.2 所示是一个正三棱锥的投影图。从图中可见：底面是水平面；前、后棱面都是



(a) 立体图　　　　(b) 投影图

图 3.1　正五棱柱的投影

一般位置平面；右棱面是正垂面。从图中还可看出：底面的正面投影和侧面投影、右棱面的正面投影有积聚性，三个棱面的水平投影都可见，底面的水平投影不可见；前棱面的正面投影可见，后棱面的正面投影不可见；前、后棱面的侧面投影可见，右棱面的侧面投影不可见。

作平面立体表面上的点和线的投影，就是作它的多边形表面上的点和线的投影，即作平面上的点和线的投影。

【例 3-1】 如图 3.3 所示，已知五棱柱表面上的点 F 和 G 的正面投影 $f'(g')$，求作它们的水平投影和侧面投影。

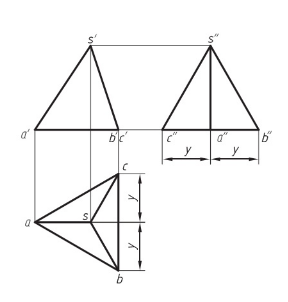


图 3.2　正三棱锥的投影

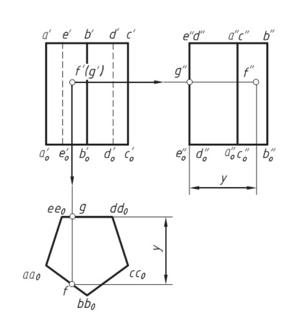


图 3.3　作五棱柱表面上的点

解： 由图 3.3 正面投影对照水平投影可以看出：由于 $f'(g')$位于棱面 BB_0A_0A 的可见投影 $b'b_0'a_0'a'$和棱面 DD_0E_0E 的不可见投影 $d'd_0'e_0'e'$的重合处，所以就可断定点 F 在棱面 BB_0A_0A 上，点 G 在棱面 DD_0E_0E 上。

作图过程如图 3.3 所示。

（1）由 $f'(g')$分别在这两个棱面的有积聚性的水平投影上作出 f、g。

（2）由(g')在棱面 DD_0E_0E 的有积聚性的侧面投影上作出 g''。

（3）由 f'、f 作出 f''。

【例 3-2】 如图 3.4(a)所示，已知三棱锥表面上的点 D 和 E 的水平投影 $d(e)$，求作它们的正面投影。

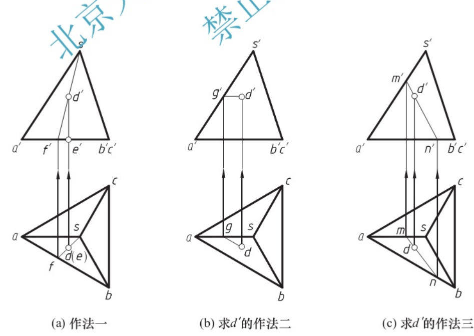
解： 由水平投影对照正面投影可以看出：由于 $d(e)$位于棱面 SAB 的可见投影 sab 和底面 ABC 的不可见投影 abc 的重合处，所以就可断定点 D 在棱面 SAB 上，点 E 在底面 ABC 上。

作图过程如图 3.4(a)所示。

（1）由(e)作投影连线，在底面 ABC 的有积聚性的正面投影 $a'b'c'$上作出 e'。

（2）用锥顶 S 与点 D 的连线作出 d'：连接 s 与 d；延长 sd，与 ab 交于 f；由 f 作投影连线，与 $a'b'$交于 f'；连接 s'与 f'；由 d 作投影连线，在 $s'f'$上交于 d'。

因为已知三棱锥表面上的点 D 的一个投影求作另一投影的问题，实际上就是已知△SAB 棱面上点 D 的一个投影求作另一投影，所以按照点在平面上的几何条件，只要过点 D 在△SAB 上作任何直线，都可作出它的另一投影，图 3.4(a)中点 D 与锥顶 S 的连线 SD，就是△SAB 上的一条直线，便可简捷地作出 d'。同理，也可如图 3.4(b)所示，用过点 D 在△SAB 上引 AB 的平行线 DG 作出 d'；或者，如图 3.4(c)所示，用过点 D 在△SAB 上引任意直线 MN 作出 d'。



(a) 作法一　(b) 求d'的作法二　(c) 求d'的作法三

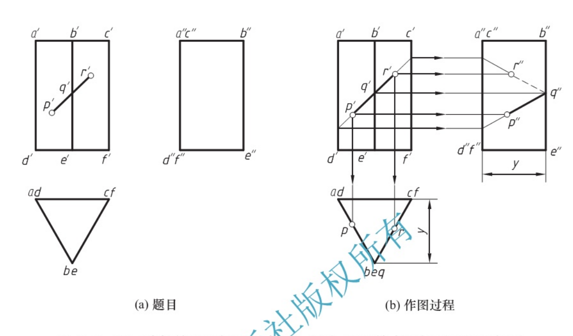
图 3.4 作三棱锥表面上的点

【例 3-3】 如图 3.5(a)所示，求作三棱柱表面上的折线 PQR 的水平投影和侧面投影。

解： 从图 3.5(a)的正面投影和水平投影可以看出：这个三棱柱的顶面和底面是水平

面，左前和右前棱面都是铅垂面，后棱面是正平面；棱线是铅垂线。由它的正面投影和水平投影就可作出侧面投影。由于折线 PQR 的线段 PQ、QR 的正面投影 $p'q'$、$q'r'$都可见，所以 PQ、QR 应分别位于左前棱面和右前棱面上，可由 $p'q'$、$q'r'$分别在这两个棱面的水平投影和侧面投影上作出 pq、qr 和 $p''q''$、$q''r''$。

作图过程如图 3.5(b)所示。



(a) 题目　　　　(b) 作图过程

图 3.5　作三棱柱的侧面投影和表面上折线 *PQR* 的水平投影和侧面投影

(1) 作三棱柱的侧面投影：在三棱柱正面投影右方的适当位置作铅垂线，由点的正面投影与侧面投影应位于水平的投影连线上的原则，就可作出处于正平面位置的后棱面 $ADFC$ 的侧面投影 $a''d''f''c''$。由 $a''d''f''c''$向前量取在水平投影中已显示的距离 y，就可作出顶面 ABC、底面 DEF 和前棱线 BE 的侧面投影。$a''b''c''d''e''f''$即为该三棱柱的侧面投影。

(2) 作线段 PQ 的水平投影和侧面投影：由 p'作铅垂的和水平的投影连线，分别与 ab 相交得 p，量取 p 的 y 坐标得到 p''，再由 q'作铅垂的和水平的投影连线，求得 q 和 q''。由于棱面 $ADEB$ 的水平投影具有积聚性，侧面投影可见，所以 PQ 的水平投影 pq 具有积聚性，侧面投影 $p''q''$可见，画成粗实线。

(3) 作线段 QR 的水平投影和侧面投影：作图的原理与方法与作 PQ 相同，水平投影 qr 具有积聚性，但是 QR 侧面的投影在不可见的棱面 $BEFC$ 上，所以 $q''r''$不可见，画成虚线。

图 3.6 给出了一些平面立体的三面投影的例图。从图中可以看出：平面立体的投影的外围轮廓总是可见的，应画粗实线；而在投影的外围轮廓内部的图线，则应根据线、面的投影分析，按前遮后、上遮下、左遮右直接判断投影的可见性，决定画粗实线或虚线，需要时还可利用交叉两直线的重影点的可见性进行判断，如图 3.6(c)所示。

从图 3.6(f)所示的平面立体的三面投影可以看出：这个立体是左右对称的，顶面和底面都是水平面，左壁和右壁是正垂面，前壁是侧垂面，后壁是正平面。由于相邻壁面的四条交线延长后不能交汇于一点，所以它不是棱台，而是一个楔形块，其他图例读者自行阅读分析。

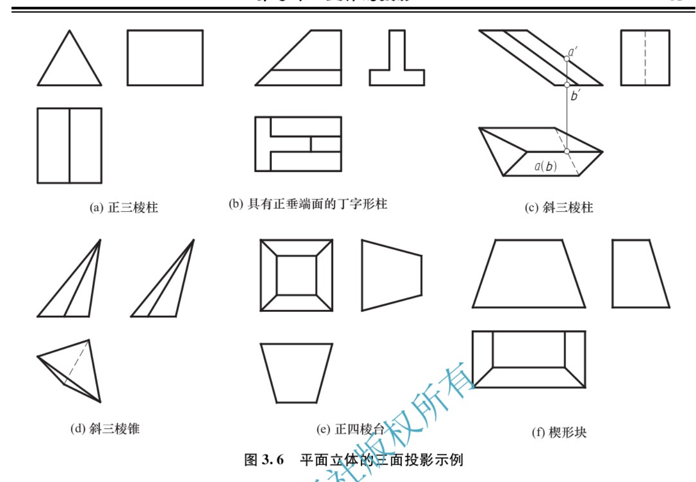


图 3.6　平面立体的三面投影示例

3.1.2　曲面立体

曲面立体由曲面或曲面和平面所围成。有的曲面立体有轮廓线，即表面之间的交线，如圆柱的顶面与圆柱面的交线圆；有的曲面立体有尖点，如圆锥的锥顶；有的曲面立体全部由光滑的曲面所围成，如球。在画曲面的投影时，除了画出轮廓线和尖点外，还要画出曲面投影的转向轮廓线。例如，在图 3.7 中画出了球面的水平投影，是球面上的水平大圆的水平投影，这个水平大圆是水平投影可见的上半球面与不可见的下半球面的分界线，因此，这个水平大圆的水平投影就是球面的水平投影的转向轮廓线。可以想象：球面的正面投影、侧面投影的转向轮廓线，分别是球面上的正平大圆的正面投影、侧平大圆的侧面投影。又如在图 3.8(a)中也表明了圆柱面的正面投影和侧面投影的转向轮廓线，分别是圆柱面上的最左、最右素线的正面投影和最前、最后素线的侧面投影。由此可见：曲面投影的转向轮廓线是切于曲面的所有投射线与投影面的交点的集合，也就是这些投射线所组成的平面或柱面与曲面的切线的投影，常常是曲面的可见投影和不可见投影的分界线，因此，曲面立体的投影就是它的所有曲面表面或曲面表面与平面表面的投影，也就是曲面立体的轮廓线、尖、点的投影和曲面投影的转向轮廓线。某些曲面可看作由一条线按一定的规律运动所形成，这条运动的线称为母线，而曲面上任一位置的母线称为素线。母线绕轴线旋转，形成回转面。母线上的各点绕轴线旋转时，形成回转面上垂直于轴线的纬圆。

作曲面立体表面上的点和线的投影，就是作它的曲面或平面表面上的点和线的投影。作曲面上的点与作平面上的点相类似。作曲面上的线，除了曲面上可能存在的直线以及平行于投影面的圆可以直接作图外，通常是作出线上的很多点连成的。垂直于投影面的柱面在这个投影面上的投影有积聚性，柱面上的点和线的投影都积聚在柱面的有积聚性的同面投影上；在其他曲面上取点时，常常通过该点在曲面上作一条线，然后在这条线的投影上

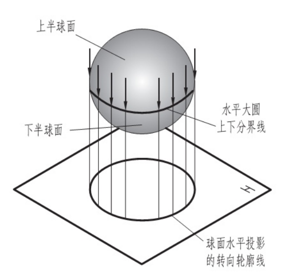


图 3.7　球的水平投影的转向轮廓线

作出该点的同面投影，若曲面上存在直线或平行于投影面的圆，则应利用它们进行作图。

常见的曲面立体是回转体，工程上用得最多的是圆柱、圆锥和球，有时也用到环和具有环面的回转体。

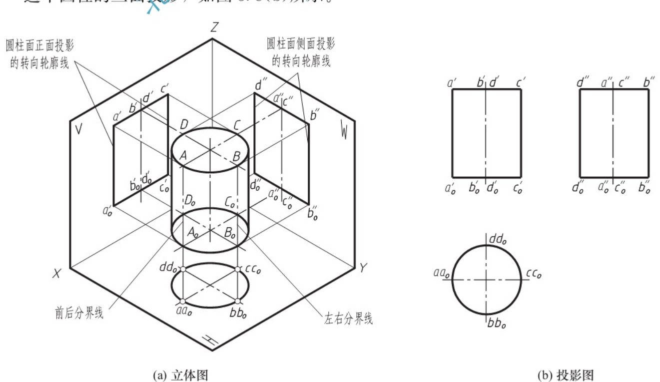
1. 圆柱

圆柱由圆柱面、顶面、底面所围成。圆柱面由直线绕与它相平行的轴线旋转而成。

如图 3.8(a)所示，当轴线为铅垂线时，圆柱面上所有素线都是铅垂线，圆柱面的水平投影积聚成一个圆，圆柱面上的点和线的水平投影都积聚在这个圆上。圆柱的顶面和底面是水平面，它们的水平投影反映真形，就是这个圆。用点画线画出对称中心线，对称中心线的交点是轴线的水平投影。

圆柱的顶面、底面的正面投影都积聚成直线；圆柱的轴线和素线的正面投影、侧面投影仍是铅垂线，用点画线画出轴线的正面投影和侧面投影。圆柱的正面投影的左右两侧是圆柱面的正面投影的转向轮廓线 $a'a_0'$和 $c'c_0'$，它们分别是圆柱面上最左、最右素线 AA_0、CC_0(也就是正面投影可见的前半圆柱面和不可见的后半圆柱面的分界线)的正面投影；AA_0 和 CC_0 的侧面投影 $a''a_0''$和 $c''c_0''$则与轴线的侧面投影相重合。圆柱的侧面投影的前后两侧是圆柱面的侧面投影的转向轮廓线 $b''b_0''$和 $d''d_0''$，它们分别是圆柱面上最前、最后素线 BB_0 和 DD_0(也就是侧面投影可见的左半圆柱面和不可见的右半圆柱面的分界线)的侧面投影；BB_0 和 DD_0 的正面投影 $b'b_0'$和 $d'd_0'$则与轴线的正面投影相重合。

这个圆柱的三面投影，如图 3.8(b)所示。



(a) 立体图　　(b) 投影图

图 3.8　圆柱的投影

如图 3.9 所示，已知圆柱面上的点 A 和 B 的正面投影 $a'(b')$，求作它们的水平投影和侧面投影。

作图过程如图 3.9 所示。

(1) 从 a' 可见和 b' 不可见得知，点 A 在前半圆柱面上，而点 B 在后半圆柱面上，于是就可由 $a'(b')$ 引铅垂的投影连线，在圆柱面的有积聚性的水平投影上作出 a 和 b。

(2) 由 $a'(b')$ 引水平的投影连线，由 a、b 按宽相等和前后对应，就可作出 a'' 和 b''。由于点 A 和 B 都在左半圆柱面上，所以 a''、b'' 都是可见的。

2. 圆锥

圆锥由圆锥面、底面所围成。圆锥面由直线绕与它相交的轴线旋转而成。

如图 3.10 所示，当圆锥的轴线为铅垂线时，底面的正面投影、侧面投影分别积聚成直线，水平投影反映它的真形——圆。

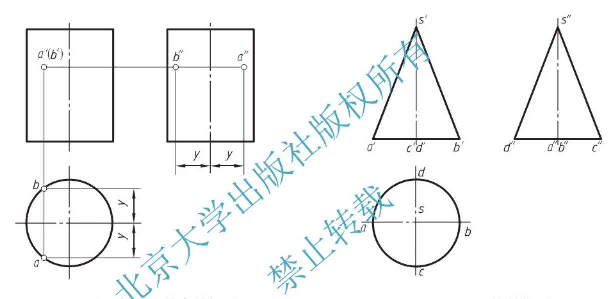


图 3.9　作圆柱面上的点的投影　　**图 3.10　圆锥的投影**

用点画线画出轴线的正面投影和侧面投影；在水平投影中，用点画线画出对称中心线，对称中心线的交点，既是轴线的水平投影，又是锥顶 S 的水平投影 s。

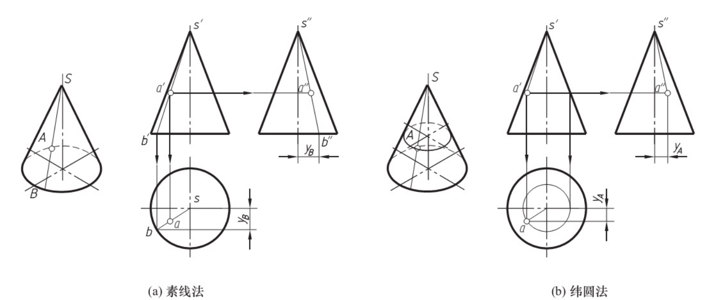
圆锥面正面投影的转向轮廓线 $s'a'$、$s'b'$ 是圆锥面上最左、最右素线 SA、SB（也就是正面投影可见的前半圆锥面和不可见的后半圆锥面的分界线）的正面投影；SA、SB 的侧面投影 $s''a''$、$s''b''$，与轴线的侧面投影相重合。圆锥面侧面投影的转向轮廓线 $s''c''$、$s''d''$ 是圆锥面上最前、最后素线 SC、SD（也就是侧面投影可见的左半圆锥面和不可见的右半圆锥面的分界线）的侧面投影；SC、SD 的正面投影 $s'c'$、$s'd'$，与轴线的正面投影相重合。

在图 3.10 中，清楚地表明了锥顶 S 的正面投影 s'、侧面投影 s'' 和水平投影 s。圆锥面的水平投影与底面的水平投影相重合。显然，圆锥面的三个投影都没有积聚性。

如图 3.11 所示，已知圆锥的三面投影以及圆锥面上的点 A 的正面投影 a'，求作它的水平投影 a 和侧面投影 a''。由于圆锥面的三个投影都没有积聚性，所以需要在圆锥面上通过点 A 作一条辅助线。为了作图方便，应选取素线或垂直于铅垂轴线的纬圆（水平圆）作为辅助线，分述如下。

作法一（素线法）：先参阅图 3.11(a) 中的立体图，连接 SA 并延长，交底圆于点 B，因为 a' 可见，所以素线 SB 位于前半圆锥面上，点 B 也在前半底圆上。作图过程如图 3.11

(a)投影图所示。



(a) 素线法　　　　(b) 纬圆法

图 3.11　作圆锥面上的点的投影

(1) 连接 $s'a'$ 并延长，与底圆的正面投影相交于 b'。由 b' 引铅垂的投影连线，在前半底圆的水平投影上交得 b。由 b 按宽相等和前后对应(y_B)在底圆的侧面投影上作出 b''。分别连接 sb、$s''b''$，即得过点 A 的素线 SB 的三面投影 $s'b'$、sb 和 $s''b''$。

(2) 由 a' 分别引铅垂的和水平的投影连线，在 sb 上作出 a，在 $s''b''$ 上作出 a''。由于圆锥面的水平投影可见，所以 a 也可见；又由于点 A 在左半圆锥面上，所以 a'' 也为可见。

作法二(纬圆法)：先参阅图 3.11(b)中的立体图，通过点 A 在圆锥面上作垂直于轴线的水平纬圆，这个圆实际上就是点 A 绕轴线旋转所形成的。作图过程如图 3.11(b)投影图所示。

(1) 过 a' 作垂直于轴线的水平纬圆的正面投影，其长度就是这个纬圆的直径的真长，它与轴线的正面投影的交点，就是圆心的正面投影，而圆心的水平投影则重合于轴线的有积聚性的水平投影上，与 s 相重合。由此就可作出这个圆的反映真形的水平投影(也可如图 3.11(b)中所示，利用这个圆在最右素线上的点作出)。

(2) 因为 a' 可见，所以点 A 应在前半圆锥面上，于是就可由 a' 引铅垂的投影连线，在水平纬圆的前半圆的水平投影上作出 a。由 a' 引水平的投影连线，又由 a 按宽相等和前后对应(y_A)，即可作出点 A 的侧面投影 a''。可见性的判断在作法一中已阐述，不再重复。

3. 球

球由球面围成。球面由圆绕其直径为轴线旋转而成。

如图 3.12 所示，球的三面投影都是直径与球直径相等的圆，它们分别是这个球面的三个

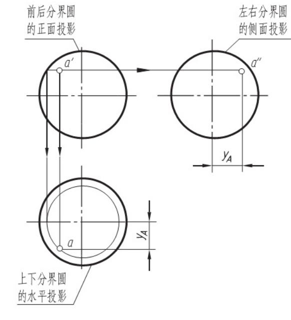


图 3.12　球和球面上的点的投影

投影的转向轮廓线。正面投影的转向轮廓线是球面上平行于正面的大圆(前后半球面的分界线)的正面投影；水平投影的转向轮廓线是球面上平行于水平面的大圆(上下半球面的分界线)的水平投影；侧面投影的转向轮廓线是球面上平行于侧面的大圆(左右半球面的分界线)的侧面投影。在球的三面投影中，应分别用点画线画出对称中心线，对称中心线的交点是球心的投影。

如图 3.12 所示，已知球面上点 A 的正面投影 a'，求作它的水平投影和侧面投影。因为球面的三个投影都没有积聚性，而且球面上不存在直线，但可以在球面上过点 A 作平行于投影面的圆，所以图中过点 A 作球面上的水平圆，这个圆实际上就是点 A 绕球的铅垂轴线旋转所形成的纬圆。

作图过程如图 3.12 所示。

(1) 过 a' 作球面上的水平圆的正面投影，按在正面投影中所显示的这个圆的直径的真长(或如图 3.12 所示，利用这个圆在球面的平行于正面的大圆上的点)，作出反映这个圆的真形的水平投影。

(2) 因为 a' 可见，便可由 a' 引铅垂的投影连线，在这个圆的前半圆的水平投影上作出 a。

(3) 由 a' 水平的投影连线，由 a 按宽相等和前后对应(y_A)，就可作出 a''。因为从 a' 可看出点 A 位于上半和左半球面上，所以 a 和 a'' 都是可见的。

读者可以想到：用同样的作图原理和方法，也可在图 3.12 中用过点 A 的球面上平行于侧面的圆求作 a'' 和 a；还可用过点 A 的球面上平行于正面的圆求作 a 和 a''。

4. 环

环由环面围成。环面由圆绕圆平面上不与圆心共线的直线为轴旋转而成。

图 3.13 所示的环是圆心为 O 的正平圆绕圆平面上不与圆周相交或相切的铅垂轴线旋转而形成的。

轴线的水平投影积聚为一点(对称中心线的交点)；圆母线的水平投影成为直线，延长后应通过轴线的有积聚性的水平投影。在旋转过程中，圆母线上的各点都形成垂直于轴线的水平纬圆；而环面的水平投影的转向轮廓线是圆母线上离轴线最远的点 A 和最近的点 B 旋转形成的最大和最小的纬圆的水平投影。圆心 O 旋转形成的水平圆的水平投影用点画线表示。

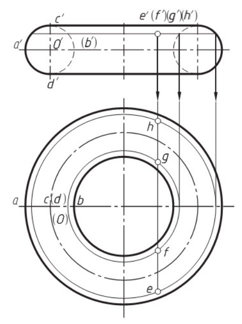


图 3.13　环和环面上的点的投影

轴线的正面投影仍是铅垂线。正面投影中的左、右两个圆是平行于正面的两条圆素线的正面投影；而上、下两条水平线则是圆母线上的最高点 C 和最低点 D 旋转形成的水平圆的正面投影。它们都是环面的正面投影的转向轮廓线。圆母线的圆心 O 以及点 A、B 旋转形成的三个水平圆的正面投影都分别重合在用点画线表示的环的上下对称线上。

圆母线离轴线较远的半圆旋转形成的曲面是外环面；离轴线较近的半圆旋转形成的曲面是内环面。在正面投影中，前半外环面的投影是可见的；后半外环面的投影不可见，但与前半外环面的投影相重合。内环面的正面投影都不可见，内环面的正面投影的转向轮廓

线也不可见而画成虚线。在水平投影中，上半环面的投影可见，下半环面的投影不可见，且与上半环面的投影相重合。

在图 3.13 中还画出了环面上对正面投影的四个重影点 E、F、G、H 的正面投影 $e(f')(g')(h')$（按由前向后的顺序排列），求作它们的水平投影。

根据上述排列的顺序可知，E、H 分别是前、后外环面上的点，而 F、G 则分别是前、后内环面上的点。由于这些点都在上半环面上，所以它们的水平投影都可见。通过点 F 和 G、点 E 和 H 分别在内、外环面上作水平纬圆，就可作出这四个点的水平投影。具体的作图过程如图 3.13 所示，请读者自行阅读。

3.2　平面与平面立体表面相交

平面与立体表面的交线，称为截交线；切割立体的平面称为截平面。

3.2.1　平面立体的截交线

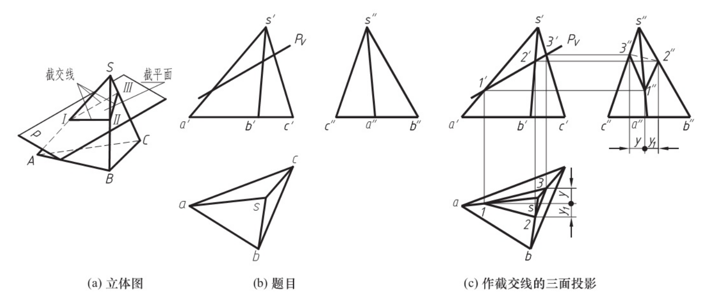
如图 3.14(a)所示，平面立体的截交线是一个多边形，它的顶点是平面立体的棱线或底边与截平面的交点，它的边是截平面与平面立体表面的交线。

如图 3.14(b)所示，已知三棱锥 $SABC$ 和正垂面 P 相交，求作截交线的三面投影。

作图过程如图 3.14(c)所示。

(1) 在棱线 SA、SB、SC 的正面投影 $s'a'$、$s'b'$、$s'c'$ 与截平面 P 的有积聚性的迹线 P_V 的相交处，作出它们的交点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的正面投影 $1'$、$2'$、$3'$，与 P_V 相重合的直线 $1'2'3'$，即为截交线△ⅠⅡⅢ的正面投影。

(2) 由 $1'$、$2'$、$3'$ 作投影连线，分别与 sa、sb、sc 和 $s''a''$、$s''b''$、$s''c''$ 交出 1、2、3 和 $1''$、$2''$、$3''$。连接这些点的同面投影，就作出了截交线△ⅠⅡⅢ的水平投影△123 和侧面投影△$1''2''3''$。由于三个棱面的水平投影和棱面 SAB、SCA 的侧面投影都可见，在其上的截交线的同面投影 12、23、31 和 $1''2''$、$3''1''$ 也都可见，画粗实线；棱面 SBC 的侧面投影不可见，在其上的截交线的侧面投影 $2''3''$ 也不可见，画虚线。



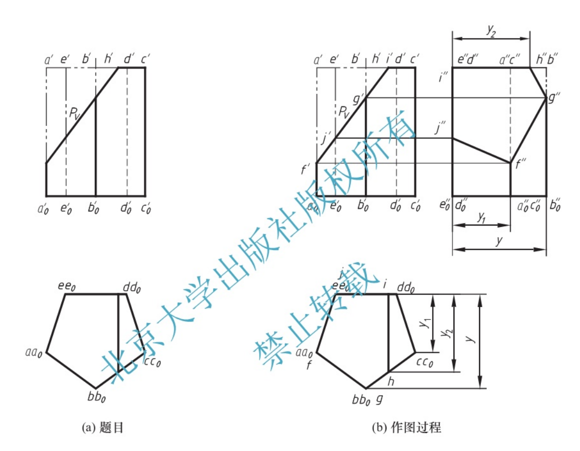
(a) 立体图　(b) 题目　(c) 作截交线的三面投影

图 3.14　作平面立体的截交线(棱锥)

如图 3.15(a)所示，已知五棱柱的正面投影和水平投影，并用正垂面 P 切割掉左上方的一块，被切割掉的部分用双点画线表示，求作截交线以及五棱柱被切割后的三面投影。

因为截交线的各边是正垂面 P 与五棱柱的棱面和顶面的交线，它们的正面投影都重合在 P_V 上，所以截交线的正面投影已知，五棱柱被切割后的正面投影也已知，只要作出截交线的水平投影，就可作出五棱柱被切割后的水平投影。根据五棱柱的正面投影和水平投影，可以作出它的侧面投影；同理，由已作出的截交线的正面投影和水平投影，也可作出截交线的侧面投影，从而作出五棱柱被切割后的侧面投影。从已知的正面投影可以直观地看出，截面的水平投影和侧面投影都是可见的。

作图过程如图 3.15(b)所示。



(a) 题目　　　(b) 作图过程

图 3.15　作平面立体的截交线(棱柱)

(1) 在五棱柱正面投影右侧的适当位置画出后棱面有积聚性的侧面投影即铅垂线，用水平投影中从后棱面向前的距离 y 和 y_1，按侧面投影与水平投影宽相等和前后对应，以及五棱柱顶面、底面的正面投影和侧面投影应分别在同一水平线上的原则，就可由已知的正面投影和水平投影作出完整的五棱柱的侧面投影。

(2) 在截交线已知的正面投影上，标注出棱线 AA_0、BB_0、EE_0 与截平面 P 的交点 F、G、J 的正面投影 f'、g'、j'，标注出截平面 P 与顶面的交线 HI(及其端点 H、I)的正面投影 $h'i'$，就表明了截交线五边形 $FGHIJ$ 的正面投影 $f'g'h'i'j'$。

在 aa_0、bb_0、ee_0 上分别标出 f、g、j，由 $h'i'$ 作出 hi，画出截交线五边形 $FGHIJ$ 的水平投影 $fghij$，也就补全了五棱柱被切割后的水平投影。

由 f'、g'、j' 分别在 $a''a_0''$、$b''b_0''$、$e''e_0''$ 上作出 f''、g''、j''；由于点 I 在顶边侧垂线 ED 上，所以可直接在积聚成一点的 $e''d''$ 上标注出 i''；在顶面的侧面投影上，从 i'' 向前量取水平投影中 h 在 i 前的距离 y_2，就可作出 h''。连 j'' 与 f''、f'' 与 g''、g'' 与 h''，$h''i''$、$i''j''$ 分别积

聚在顶面、后棱面的侧面投影上，便画出截交线五边形 $FGHIJ$ 的侧面投影 $f''g''h''i''j''$。因为棱线 AA_0 在点 F 之上的一段已被切割掉，而棱线 CC_0 仍是全部存在的，所以在侧面投影中应将 f''以上的粗实线改为虚线，仅表示侧面投影不可见的棱线 CC_0 的上部的一段；同时还应将 h''以前和 g''以上的五棱柱被切割掉的侧面投影的轮廓线擦去或改为双点画线，也就作出了五棱柱被切割后的侧面投影。

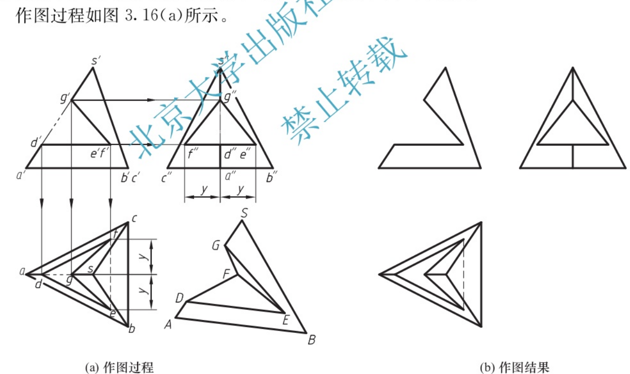
3.2.2　平面立体的切割与穿孔

在形状较为复杂的机件上，有时会见到由平面与平面立体相交而形成的具有缺口的平面立体或穿孔的平面立体，只要逐个作出各个截平面与平面立体的截交线，并画出截平面之间的交线，就可作出这些平面立体的投影图。

如图 3.16(a)所示，已知一个缺口三棱锥的正面投影，要补全它的水平投影和侧面投影。从正面投影中可见：缺口是由一个水平面和一个正垂面切割三棱锥而形成的，左棱线 SA 有一段被切割掉，在正面投影中画成双点画线，而在水平投影和侧面投影中，则在未经作图确定 SA 被切割掉的一段棱线的投影之前，暂时先将 sa 和 $s''a''$都画成双点画线。

可以想象：因为水平截平面平行于底面，所以它与前、后棱面的交线 DE、DF 分别平行于底边 AB、AC，正垂截平面分别与前、后棱面相交于直线 GE、GF。由于两个截平面都垂直于正面，所以它们的交线 EF 一定是正垂线。想象的结果如图 3.16(a)右下角的立体图所示。画出这些交线的投影，也就画出了这个缺口的投影。

作图过程如图 3.16(a)所示。



(a) 作图过程　　(b) 作图结果

图 3.16　补全缺口三棱锥的水平投影和侧面投影

(1) 因为这两个截平面都垂直于正面，所以 $d'e'$、$d'f'$ 和 $g'e'$、$g'f'$ 都分别重合在它们的有积聚性的正面投影上，$e'f'$则位于它们的有积聚性的正面投影的交点处。在正面投影中标注出这些交线的投影。

(2) 由 d'在 sa 上作出 d。由 d 作 $de//ab$、$df//ac$，再分别由 e'、f'在 de、df 上作出 e、f。由 $d'e'$、de 作出 $d''e''$，由 $d'f'$、df 作出 $d''f''$，它们都重合在水平截平面的积聚成

直线的侧面投影上。

(3) 由 g'分别在 sa、$s''a''$上作出 g、g''，并分别与 e、f 和 e''、f''连成 ge、gf 和 $g''e''$、$g''f''$。

(4) 连接 e 和 f，由于 ef 被三个棱面 SAB、SBC、SCA 的水平投影所遮而不可见，画成虚线；$e''f''$则重合在水平截平面的有积聚性的侧面投影上。

(5) 用粗实线加深在棱线 SA 上实际存在的 SG、DA 段的水平投影 sg、da 和侧面投影 $s''g''$、$d''a''$；原来用双点画线表示的 GD 段的三面投影 $g'd'$、gd、$g''d''$实际不存在，不应画出。

由此就补全了缺口三棱锥的水平投影和侧面投影，作图结果如图 3.16(b)所示。

3.3　平面与回转体表面相交

在一些零件上，常常见到平面与回转体表面相交，如图 3.17(a)中触头的端部和图 3.17(b)中接头的槽口和凸榫。

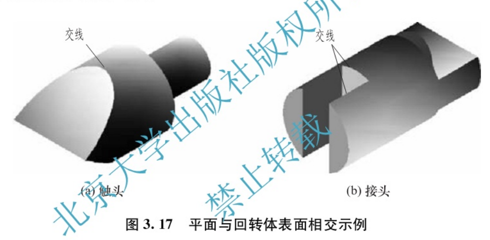


图 3.17　平面与回转体表面相交示例

曲面立体的截交线通常是一条封闭的平面曲线，也可能是由截平面上的曲线和直线所围成的平面图形或多边形。截交线的形状与曲面立体的几何性质及其与截平面的相对位置有关。

截交线是截平面和曲面立体表面的共有线，截交线上的点也都是它们的共有点。当截平面为特殊位置平面时，截交线的投影就积聚在截平面的有积聚性的同面投影上，可用在曲面立体表面上取线和点的方法作截交线。

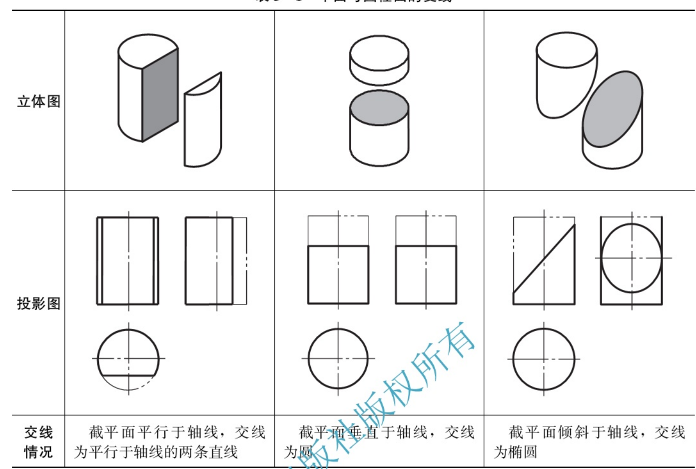
截交线上有一些能确定截交线的形状和范围的特殊点，包括曲面投影的转向轮廓线上的点，截交线在对称轴上的顶点，以及最高、最低、最左、最右、最前、最后点等，其他的点是一般点。求作曲面立体的截交线时，在可能和方便的情况下，通常先作出这些特殊点，然后按需要再作一些一般点，最后连成截交线的投影，并表明可见性。

下面介绍一些由特殊位置平面与常见的回转体表面相交而形成的截交线、缺口的画法。

3.3.1　平面与圆柱相交

平面与圆柱面的交线有三种情况，见表 3-1。

表 3-1　平面与圆柱面的交线



立体图			
投影图			
交线情况	截平面平行于轴线，交线为平行于轴线的两条直线	截平面垂直于轴线，交线为圆	截平面倾斜于轴线，交线为椭圆

【例 3-4】 如图 3.18 所示，补全触头上截交线的水平投影。

解： 先分析触头及其截交线的情况。从图中的已知条件可以看出，触头的轴线是侧垂线，由一个大圆柱和一个小圆柱所组成。大圆柱左端被上下对称的两个相交的正垂面所截，这两个截平面与大圆柱的左端面共同交于一条垂直于正面的直径。实际上它就是图 3.17(a)所示的触头。

图 3.18　补全触头上截交线的水平投影

因为截平面倾斜于轴线，与圆柱面的交线是上下对称的半椭圆：正面投影分别重合在截平面的有积聚性的正面投影上；侧面投影分别重合在大圆柱面的有积聚性的侧面投影上；水平投影分别仍为半椭圆，因为上下对称，投影互相重合，所以只要作出上面的半椭圆就可以了。

作图过程如图 3.18 所示。

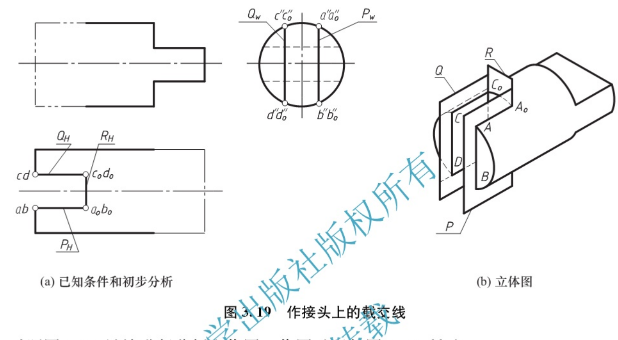
(1) 标注出两截平面的交线 AE 的三面投影符号，因为 AE 是圆柱的上下对称面上的一条直径，所以就是截交线半椭圆的短轴，半长轴就在前后对称面上，半长轴的端点 C 即为截交线上的最高点，由此标出 c'、c''，并由 c' 在圆柱面的最高素线的水平投影上求出 c。

(2) 为了能光滑地连出截交线的水平投影，可在截交线上选取一些一般点，如在截交线上取对正面投影的重影点 B、D：先在截交线的正面投影上取重影点 b'、d'，由 b'、d' 在截交线的侧面投影上作出 b''、d''，再分别由 b'、b'' 和 d'、d'' 作出 b 和 d。

(3) 顺序连接 a、b、c、d、e，就可补全截交线的水平投影。

【例 3-5】 如图 3.19(a)所示，补全接头的正面投影和水平投影。

解： 先分析接头及截交线的情况。根据图 3.19(a)中的已知条件，可以将接头左端的槽口看作由两个平行于圆柱轴线的正平面 P、Q 和一个垂直于圆柱轴线的侧平面 R 切割圆柱面形成的，截平面和截交线的初步分析如图 3.19(a)和图 3.19(b)所示。要在图中双点画线所画的范围内画出接头左端的正面投影；并请读者自行分析右端的凸榫，也要在图中双点画线所画的范围内，画出接头右端的水平投影。



(a) 已知条件和初步分析　　(b) 立体图

图 3.19 作接头上的截交线

对照图 3.19 继续进行分析和作图，作图过程如图 3.20 所示。

(1) 截平面 P、Q 与圆柱面的交线是四条侧垂线 AA_0、BB_0、CC_0、DD_0。它们的侧面投影 $a''a_0''$、$b''b_0''$、$c''c_0''$、$d''d_0''$ 分别积聚成点，位于圆柱面的有积聚性的侧面投影上；水平投影 aa_0、bb_0 重合在 P_H 上，$c''c_0''$、$d''d_0''$ 重合在 Q_H 上。在图 3.20(a)中标注出 $a''a_0''$、$b''b_0''$、$c''c_0''$、$d''d_0''$ 和 aa_0、bb_0、cc_0、dd_0，并由它们作出 $a'a'_0$、$b'b'_0$、$c'c'_0$、$d'd'_0$。由于前后对称，$a'a'_0$ 与 $c'c'_0$、$b'b'_0$ 与 $d'd'_0$ 分别相互重合。

(2) 截平面 R 与圆柱面的交线是两段平行于侧面的圆弧 $\widehat{A_0C_0}$、$\widehat{B_0D_0}$。它们的侧面投影 $\widehat{a''_0c''_0}$、$\widehat{b''_0d''_0}$ 反映真形，分别重合在圆柱面有积聚性的侧面投影上；水平投影 a_0c_0、b_0d_0 重合在 R_H 上。于是就可在图 3.20(b)中，由 $\widehat{a''_0c''_0}$、$\widehat{b''_0d''_0}$ 和 a_0c_0、b_0d_0 作出 $a'_0c'_0$、$b'_0d'_0$ 分别是位于 a'_0、c'_0 之上和 b'_0、d'_0 之下的前后投影重合的一小段竖直线。

在图 3.20(b)中，连接 a' 和 b'、c' 和 d'，得互相重合的 $a'b'$ 和 $c'd'$，是截平面 P、Q 与左端面的交线的投影，也就是切割后的左端面的正面投影；连接 a_0' 和 b_0'、c_0' 和 d_0'，得互相重合的 $a_0'b_0'$ 和 $c_0'd_0'$，是截平面 P、Q 与 R 的交线的投影，因被圆柱面所遮而不可见，画成虚线。读者应该注意：截平面之间的交线在作图过程中不要遗漏。

(3) 接头右端的凸榫可看作由水平面和侧平面切割圆柱而形成的，作法与左端槽口相类似，如图 3.20(c)所示。

作图结果如图 3.20(d)所示。

3.3.2 平面与圆锥相交

平面与圆锥面的交线有五种情况，见表 3-2。

(a)　(b)

(c)　(d)

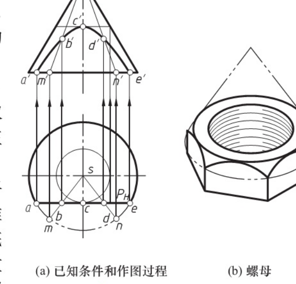
图 3.20　补全接头的正面投影与水平投影

表 3-2　平面与圆锥面的交线

立体图					
投影图					
交线情况	截平面垂直于轴线（$\theta=90°$），交线为圆	截平面倾斜于轴线，且 $\theta>\varphi$，交线为椭圆	截平面倾斜于轴线，且 $\theta=\varphi$，交线为抛物线	截平面倾斜于轴线，且 $\theta<\varphi$，或平行于轴线（$\theta=0°$）交线为双曲线	截平面通过锥顶交线为通过锥顶的两相交直线

【例 3-6】 如图 3.21(a)所示，圆锥被正平面 P 切割掉前面用双点画线表示的一部分，补出正平面 P 与圆锥面的交线的正面投影。图 3.21(b)所示是这种交线的实例——螺母的倒角曲线。

解： 先分析截交线。如图 3.21(a)所示，截平面 P 与圆锥面的轴线平行，截交线是双曲线的一叶，它的水平投影重合在 P_H 上，正面投影反映真形，左右对称。通过分析可知，问题可归结为已知圆锥面上一段双曲线的水平投影，求作它的正面投影。截平面 P 与圆锥底面的交线是侧垂线，它的正面投影重合在底面具有积聚性的正面投影上，它的水平投影重合在截平面具有积聚性的水平迹线 P_H 上，因此，都不必求作。



(a) 已知条件和作图过程　　(b) 螺母

图 3.21　补出平面与圆锥面的交线的正面投影

作图过程如图 3.21(a)所示。

(1) 作圆锥面截交线上的最低点 A、E：在截交线与底圆的水平投影的相交处，定出 a、e；再由 a、e 在底圆的正面投影上作出 a'、e'。

(2) 作截交线上的最高点 C：在截交线水平投影的中点处，定出最高点 C(即双曲线在对称轴上的顶点)的水平投影 c，再在圆锥面上通过点 C 的水平纬圆作为辅助线作出 c'，即通过 c 作这个纬圆反映真形的水平投影，利用纬圆与最右素线的交点的水平投影，在最右素线的正面投影上作出这个交点的正面投影，从而作出纬圆的正面投影，并由 c 在其上作出 c'。过 c 作这个纬圆反映真形的水平投影，利用纬圆与最右素线的交点的水平投影，在最右素线的正面投影上作出这个交点的正面投影，从而作出纬圆的正面投影，并由 c 在其上作出 c'。

(3) 在截交线的适当位置上作两个一般点 B、D：在截交线的水平投影上取截交线上两个点 B、D 的投影 b、d，连接 sb 和 sd，与底圆的水平投影分别交于 m、n，则 B、D 是素线 SM、SN 上的点。由 m、n 作出 m'、n'，并与 s' 连成 $s'm'$、$s'n'$，就可由 b、d 分别在 $s'm'$、$s'n'$ 上作出 b'、d'。

(4) 按截交线水平投影的顺序，将 a'、b'、c'、d'、e' 连成所求截交线的正面投影 $a'b'c'd'e'$。从图 3.21(a)的水平投影可以看出，$a'b'c'd'e'$ 是可见的，所以应画成粗实线。

【例 3-7】 如图 3.22 所示，圆锥被正垂面 P 截去左上端，被切割掉的圆锥的正面投影用双点画线画出，作出截交线的水平投影和圆锥被切割后的侧面投影。

解： 先分析截交线：因为截平面 P 倾斜于圆锥的轴线，且 $\theta>\varphi$，所以由表 3-2 可知，截交线是椭圆，其正面投影成一直线，积聚在 P_V 上。由于圆锥前后对称，所以正垂面 P 与它的截交线也是前后对称，椭圆的长轴是截平面 P 与圆锥的前后对称面的交线(正平线)，端点在最左、最右素线上；而短轴则是通过长轴中点的正垂线。

作图过程如图 3.22 所示。

(1) 在截交线和最左、最右素线的正面投影的交点处，作出 $1'$、$2'$，由 $1'$、$2'$ 作出 1、2，$1'2'$、12 就是断面椭圆长轴ⅠⅡ的投影。

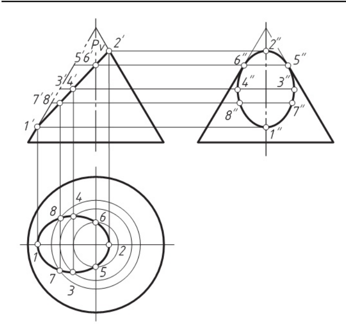


图 3.22　作截交线的水平投影被切割后的侧面投影

(2) 取 1′、2′的中点，即为断面椭圆短轴ⅢⅣ的有积聚性的正面投影 3′4′。由 3′4′作出在圆锥面上通过点Ⅲ、Ⅳ的水平纬圆的正面投影，从而作出这个纬圆的水平投影，由 3′、4′在其上作出 3、4。

(3) 为了能较准确地作出截交线的侧面投影，必须作出截交线在圆锥面的侧面投影的转向轮廓线上的点，也就是圆锥面的最前、最后素线上点，为此先作出截交线和最前、最后素线的交点Ⅴ、Ⅵ的正面投影 5′、6′，它们互相重合，由 5′、6′作出在圆锥面上通过点Ⅴ、Ⅵ的水平纬圆的正面投影，从而作出这个纬圆的水平投影，由 5′、6′在其上作出 5、6。

为了能较准确地作出截交线的水平投影和侧面投影，应在已作出的截交线上的点的稀疏处，作一些截交线上的一般点，如先在截交线的正面投影上取对正面投影的重影点Ⅶ、Ⅷ的正面投影 7′、8′，它们互相重合，再分别作通过点Ⅶ、Ⅷ的水平纬圆的正面投影和水平投影，由 7′、8′在这个纬圆的水平投影上作出 7、8。

(4) 将已作出的 1、7、3、5、2、6、4、8 等点连成封闭曲线，即为所求截交线的水平投影，因为投影可见，所以画成粗实线。12、34 分别为截交线水平投影椭圆的长、短轴。

(5) 在圆锥正面投影的右侧适当位置作圆锥轴线的侧面投影，也就是圆锥的前后对称面的侧面投影。由 1′、2′引正面投影与侧面投影的投影连线，在圆锥的前后对称面的侧面投影上交得 1″、2″；分别由 5′6′、3′4′、7′8′引正面投影与侧面投影的投影连线，与圆锥前后对称面的侧面投影相交，在这些投影连线上，从交点向前后两侧量取这些点在相应的水平投影中所反映的与圆锥前后对称面(它的水平投影就是圆锥水平投影的水平中心线)的距离，即得 5″、6″、3″、4″、7″、8″等点，按截交线的水平投影的顺序就可连得截交线的侧面投影。由圆锥底面的正面投影引正面投影与侧面投影的投影连线，与圆锥前后对称面的侧面投影相交，从交点向前后两侧量取底圆的半径长度，两端点之间的水平线段即为圆锥底面的侧面投影，前、后端点分别与 5″、6″相连，即得切割后仍存在的前、后素线的侧面投影。除圆锥轴线的投影(即圆锥前后对称面的投影)用点画线画出外，其余的投影都属可见，画成粗实线，于是就作出了圆锥被切割后的侧面投影。

如果要将圆锥被切割掉的部分的侧面投影也用双点画线画出，则可延长最前、最后素线的侧面投影，它们与轴线的侧面投影交得锥顶的侧面投影；或者，也可直接由锥顶的正面投影引正面投影与侧面投影的投影连线，直接在轴线的侧面投影上交得锥顶的侧面投影，然后分别与 5″和 6″相连。

【例 3-8】 如图 3.23 所示，圆锥被正垂面 P、侧平面 Q、正垂面 R 截去左上端，平面 P 延伸后通过锥顶 S，被切割掉的圆锥的投影和 P_V 的延长线都用双点画线画出，补全圆锥被切割后的侧面投影，并作出圆锥被切割后的水平投影。

解： 从正面投影中可以看出，只要作出切割后的底面和圆锥面，截平面 P、Q、R 与

圆锥面的截交线和截平面 *P* 与底面的交线，并作出截平面 *P* 与 *Q*、*Q* 与 *R* 的交线，就可按上述要求补全侧面投影和作出水平投影。显然，圆锥被切割后仍前后对称；这些截交线和交线的正面投影都分别积聚在这些截平面的正面迹线上，它们的侧面投影和水平投影都可见。

作图过程如图 3.23 所示。

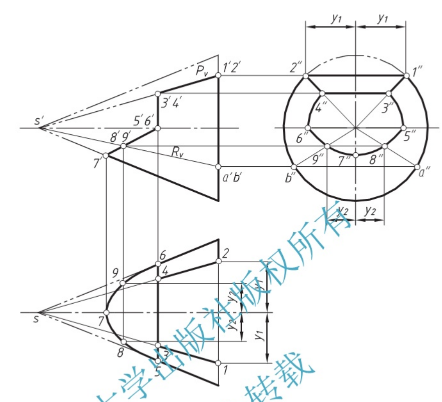


图 3.23　侧面投影和水平投影的作图过程

(1) 在正面投影中标注出：截平面 *P* 与圆锥底面交得的正垂线ⅠⅡ的正面投影 1′2′积聚成一点；截平面 *P* 与圆锥面交得的两段素线ⅢⅠ、ⅣⅡ的正面投影 3′1′、4′2′互相重合；3′4′是截平面 *P* 与 *Q* 交得的正垂线ⅢⅣ的正面投影；截平面 *Q* 与圆锥面交得的侧平纬圆的两段圆弧ⅢⅤ的正面投影 3′5′、4′6′互相重合；5′6′是截平面 *Q* 与 *R* 交得的正垂线ⅤⅥ的正面投影；截平面 *R* 与圆锥面交得的抛物线(因截平面 *R* 只平行圆锥面上的一条素线，即最高素线)ⅤⅧⅥ的正面投影 5′6′7′，前半和后半圆锥面上的抛物线段ⅤⅦ和ⅥⅧ的正面投影 5′7′和 6′7′互相重合。

(2) 作圆锥的水平投影：在适当位置作圆锥轴线的水平投影，由锥顶和底圆的正面投影作投影连线，根据底圆的已知半径即可作出圆锥的水平投影。

(3) 作截平面 *P*、*Q* 与圆锥的截交线以及 *P*、*Q* 和 *Q*、*R* 的交线，圆锥面被切割后留下的水平投影的转向轮廓线：由 *P* 面与底圆的截交线ⅠⅡ的正面投影标注出侧面投影 1″2″，并由 1″2″和在侧面投影中反映出的点Ⅰ、Ⅱ与前后对称面的距离 y_1，在底圆的水平投影上作出 12。分别将 *s*″与 1″、2″相连，*s* 与 1、2 相连；由 3′、4′在 *s*″1″、*s*″2″上作出 3″、4″，在 *s*1、*s*2 上作出 3、4，就作出了 *P* 面与圆锥面的截交线ⅠⅢ、ⅡⅣ的侧面投影 1″3″、2″4″和水平投影 13、24；分别将 3″、4″和 3、4 连成截平面 *P* 与 *Q* 的交线ⅢⅣ的侧面投影 3″4″和水平投影 34；以圆锥轴线的侧面投影(*Q* 面与圆锥面交得的侧平纬圆的圆心的侧面投影积聚在其上)为圆心、过 3″、4″作圆弧，与最前、最后素线的侧面投影交得 5″、6″，

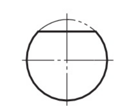
$\widehat{3''5''}$、$\widehat{4''6''}$即为这两段截交线ⅢⅤ、ⅣⅥ的侧面投影，由 $5'$、$6'$引投影连线，分别在最前、最后素线的水平投影上交得 5、6，连接 3 与 5、4 与 6，即得Ⅲy、ⅣⅥ的水平投影 35、46，35、46 与 34 都在同一直线上，即在平面 Q 的有积聚性的水平投影上；连接 $5''$和 $6''$，得截平面 Q 与 R 的交线ⅤⅥ的侧面投影 $5''6''$，而ⅤⅥ的水平投影 56，则与 35、46、34 重合在一起，都积聚在 Q 面的水平投影上，不必再求作；从正面投影中可以看出，当圆锥被切割后，最前、最后素线在点Ⅴ、Ⅵ之右仍存在，而在点Ⅴ、Ⅵ之左则被割切掉而不存在了，它们是圆锥面水平投影的转向轮廓线，应分别画出最前、最后素线在点Ⅴ、Ⅵ之右的水平投影。

(4) 作截平面 R 与圆锥面的截交线：从正面投影中可以看出，因为截平面 R 只平行于圆锥面上的一条素线，所以它与圆锥面的截交线是前后对称的抛物线，点Ⅴ、Ⅵ是前后对称的两个端点；顶点Ⅶ在最低素线上，从 $7'$正面投影与水平投影、侧面投影的投影连线，分别在最低素线的水平投影、侧面投影上作出 7、$7''$；为了能较准确地连出截交线的水平投影和侧面投影，在截交线的适当位置上任取前后对称的一般点ⅡⅩ、Ⅸ，可先在 R_V，上取重合的 $8'$、$9'$，用素线法作出 $8''$、$9''$，即利用过点ⅡⅩ、Ⅸ的素线 SA、SB 作图，先将 s'与重合的 $8'$、$9'$相连，延长这两条素线重合的正面投影，与底圆的正面投影交得 a'、b'，a'与 b'也互相重合，由 a'、b'引正面投影与侧面投影的投影连线，与底圆的侧面投影交出 a''、b''，将 s''分别与 a''、b''相连，作出 SA、SB 的侧面投影 $s''a''$、$s''b''$，再分别由 $8'$、$9'$引正面投影与侧面投影的投影连线，在 $s''a''$、$s''b''$上交得 $8''$、$9''$，由 $8'$、$9'$以及在侧面投影中反映出的点ⅡⅩ、Ⅸ与前后对称面的距离 y_2，就可在水平投影中作出 8、9；按截交线上的点反映在正面投影中的顺序连 5、8、7、9、6 和 $5''$、$8''$、$7''$、$9''$、$6''$，即可作出截平面 R 与圆锥面的截交线的侧面投影和水平投影。

由于上述图线的侧面投影和水平投影都可见，所以都画粗实线；而在水平投影中被切割掉的转向轮廓线则应擦去或用双点画线画出。

3.3.3 平面与球相交

平面与球面的截交线是圆。当截平面平行于投影面时，截交线的投影为真形；当截平面垂直于投影面时，截交线的投影为直线，长度等于截交线圆的直径；当截平面倾斜于投影面时，截交线的投影为椭圆。例如，图 3.24 中的截平面是水平面，截交线圆的水平投影为真形，正面投影为长度等于截交线圆的直径的直线，图中画出了截去球冠(截去的球冠的正面投影用双点画线表示，也可不画)后的球的两面投影。



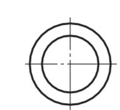


图 3.24　球被水平面截去球冠后的投影

【例 3-9】 如图 3.25(a)所示，球被正垂面截去左上方，截去部分和图中未确定的投影用双点画线表示，补全球被截断后的水平投影。

解： 先按图 3.25(a)所示的已知条件分析截交线以及球被截断后的情况。因为截平面是正垂面，所以截交线是一个正垂圆。

截交线圆的正面投影为直线，反映截交线圆的直径的真长，即图 3.25(a)中用粗实线表示的直线。截交线圆的水平投影为椭圆，由圆平面的投影可知，正垂圆只有一条处于正垂线位置的直径平行于水平面，其水平投影是长轴；而与上述直径相垂直的处于正平线位置的直径，其水平投影是短轴。从已知条件的正面投影中还可看出

球被截断后的水平投影的转向轮廓线是一个不完整的圆，在图 3.25(a)中有一段用双点画线表示的圆弧，截断后有一部分将不存在了；截去球的左上部分后，截交线圆的水平投影是可见的。同时也可看出，球被截断后仍将是前后对称的。

作图过程如图 3.25 所示。

(1) 如图 3.25(a)所示，因为截交线圆上处于正平线位置时直径 AB 的正面投影 $a'b'$ 与截交线圆的正面投影重合，于是就可定出 $a'b'$，由 $a'b'$ 在球的前后对称面的水平投影上作出 ab，a 和 b 即为截交线圆的水平投影椭圆短轴的端点。取 $a'b'$ 的中点，就是截交线圆上处于正垂线位置的直径 CD 的投影 $c'd'$，通过点 C、D 在球面上作水平纬圆，就可由 c'、d' 在这个纬圆的水平投影上作出 c、d，即为截交线圆的水平投影椭圆长轴 cd 的端点。

(2) 如图 3.25(b)所示，在截交线圆与球面的上下分界圆的正面投影相交处定出 e'、f'，由 e'、f' 在球面水平投影的转向轮廓线(即球面的上下分界圆的水平投影)上作出 e、f，e、f 即为截交线圆的水平投影与球面水平投影的转向轮廓线的切点，也是球面被截断后的水平投影转向轮廓线的端点。

(3) 如图 3.25(c)所示，将 a、e、c、b、d、f、a 连成截交线圆的水平投影。球被截后的截交线圆的水平投影是可见的，应画粗实线；球面水平投影的转向轮廓线只存在在 e、f 右边的一部分。

作图结果如图 3.25(d)所示。

(a)　(b)　(c)　(d)

图 3.25　补全球补截断后的水平投影

【例 3-10】 如图 3.26(a)所示，已知球阀阀芯的正面投影和阀芯上一个垂直于侧面的圆柱孔的侧面投影，补出这个阀芯的水平投影和侧面投影。在图 3.26(b)的右下角画出了这个阀芯的立体图，供解题时参考；这个阀芯是由球被切割后形成的，正面投影中的球被切割部分的球面的转向轮廓线画成双点画线，水平投影和侧面投影中的尚未确定的球面的转向轮廓线也暂时先画成双点画线。

解：从图 3.26(a)中可以看出，阀芯左右、前后对称，主体是一个球体，左、右被两个侧平面截成两个侧平圆，开通一个侧垂的圆柱孔；上部有一个前后贯通的凹槽，凹槽由两个侧平面和一个水平面切割而形成，两个侧平面各截得一段平行于侧面的圆弧，而水平面则截得前后各一段水平的圆弧，截平面之间的两条交线为正垂线。分析的结果如图 3.26

(a)右下角所附的立体图。

解题过程如图 3.26(b)～图 3.26(d)所示。其中，图 3.26(b)和图 3.26(c)为作图过程，图 3.26(d)为作图结果。作图步骤如下。

(1) 如图 3.26(b)所示，由两侧截交线圆的正面投影作出它们的侧面投影和水平投影；再由球体中部的圆柱孔的正面投影和侧面投影作出它的水平投影，因为圆柱孔的水平投影不可见，所以画成虚线。

(2) 如图 3.26(c)所示，先扩展凹槽两侧的截平面(图中扩展了左侧的截平面)的正面投影，得截交线圆弧的半径的真长 $c'a'$，由此就可作出凹槽左右两侧的截交线圆弧的重合的侧面投影，反映真形；两个截交线圆弧的水平投影分别为直线，可由它们的正面投影引正面投影与水平投影之间的投影连线，以及从它们的侧面投影量取圆弧的两个端点与前后对称面的距离作出。

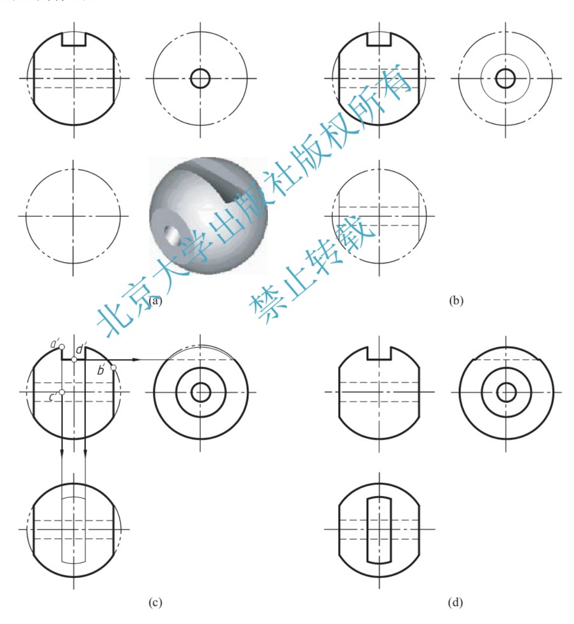


图 3.26　补出阀芯的水平投影和侧面投影

同理，作出凹槽的水平截平面与球面的截交线(前、后两段圆弧)的水平投影和侧面投影，截交线圆弧半径的真长为 $d'b'$。

凹槽的截平面之间的两条交线的正面投影分别积聚在截平面的有积聚性的投影的交点

处；水平投影分别与已作出的平行于侧面的截交线圆弧的投影相重合，实际上也就是这两个平行于侧面的截平面的有积聚性的水平投影；由这两条交线的正面投影和水平投影即可作出它们的互相重合的侧面投影，因为被左半球面所遮而不可见，画成虚线，与已作出的两段水平的截交线圆弧的侧面投影在同一条直线上，实际上也就是水平截平面的有积聚性的侧面投影。至此就完成了补画阀芯的水平投影和侧面投影的全部作图。

(3) 清理图面，即擦去一切不需要的图线和标注，按规定的图线加深，作图结果如图 3.26(d)所示。

3.4　两回转体表面相交

两立体表面的交线称为相贯线，两个或几个立体相交形成的立体称为相贯体。在一些零件上，也常常见到两回转体表面的相贯线；有时还常常见到由于在回转体上穿孔而形成的孔口交线、孔与孔的孔壁交线，实际上也可看作是相贯线。例如，在图 3.27 所示的三通管上就有两个圆柱的相贯线；还可想到在这个三通管的内部还有两个圆柱孔的孔壁相交所形成的相贯线。在一般情况下，两曲面立体的相贯线是闭合的空间曲线；在特殊情况下可能不闭合，也可能是平面曲线或直线。

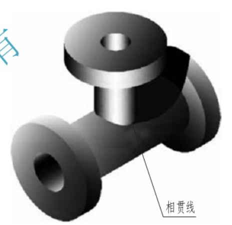


图 3.27　两回转体的相贯线影示例——三通管

两曲面立体的相贯线是两曲面立体表面的共有线，相贯线上的点是两曲面立体表面的共有点。求作两曲面立体的相贯线时，应在可能和方便的情况下，先作出相贯线上的一些特殊点，即能够确定相贯线的形状和范围的点，如立体的曲面表面投影的转向轮廓线上的点、对称的相贯线在其对称平面上的点，以及最高、最低、最左、最右、最前、最后点等，然后按需要再求作相贯线上一些其他的一般点，从而较准确地画出相贯线的投影，并表明可见性。只有一段相贯线同时位于两个立体的可见表面上时，这段相贯线的投影才是可见的；否则就不可见。

当两个立体中有一个立体表面的投影有积聚性(如垂直于投影面的圆柱等)时，可用在曲面立体表面上取点的方法作出两立体表面上的这些共有点；而在一般情况下，则可用辅助面求作这些点，也就是求出辅助面与这两个立体表面的三面共点，都是相贯线上的点。辅助面常用平面、球面等。

在这里将主要阐述利用积聚性取点和辅助平面法求作一些常见的两回转体的相贯线画法。有时在求作相贯线的过程中，同时也要定出立体的曲面投影的转向轮廓线端点的位置，在这种场合下，应该补全相贯体的投影，并表明可见性。

3.4.1　利用积聚性

两回转体相交，如果其中有一个是轴线垂直于投影面的圆柱，则相贯线在该投影面上的投影就积聚在圆柱面的有积聚性的投影上，于是，求圆柱和另一回转体的相贯线的投影，可以看作是已知另一回转体表面上的线的一个投影而求作其他投影的问题。这样，就

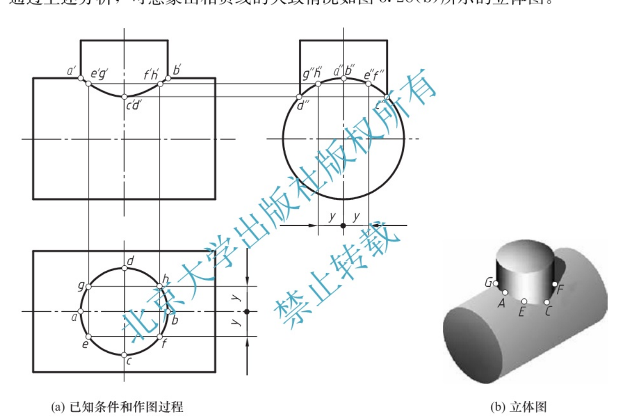
可以在相贯线上取一些点，按已知曲面立体表面上的点的一个投影求其他投影的方法，即利用积聚性取点，作出相贯线的投影。

如图 3.28(a)所示，已知两圆柱的三面投影，求作它们的相贯线。

从已知条件可知：两圆柱的轴线垂直相交，有共同的前后对称面和左右对称面，小圆柱全部穿进大圆柱。因此，相贯线是一条闭合的空间曲线，并且，也是前后对称和左右对称的。

由于小圆柱面的水平投影积聚为圆，相贯线的水平投影便重合在其上；同理，大圆柱面的侧面投影积聚为圆，相贯线的侧面投影也就重合在小圆柱穿进处的一段圆弧上，且左半和右半相贯线的侧面投影互相重合。于是问题就可归结为已知相贯线的水平投影和侧面投影，求作它的正面投影。因此，可采用在圆柱面上利用圆柱面的积聚投影取点的方法，作出相贯线上的一些特殊点和一般点的投影，再顺序连成相贯线的投影。

通过上述分析，可想象出相贯线的大致情况如图 3.28(b)所示的立体图。



(a) 已知条件和作图过程　　(b) 立体图

图 3.28　作两圆柱的相贯线的投影

作图过程如图 3.28(a)所示。

(1) 作特殊点：先在相贯线的水平投影上定出最左、最右、最前、最后点 A、B、C、D 的投影 a、b、c、d，再在相贯线的侧面投影上相应地作出 a''、b''、c''、d''。由 a、b、c、d 和 a''、b''、c''、d''作出 a'、b'、c'、d'。可以看出，点 A、B 和 C、D 分别也是相贯线上的最高、最低点。

(2) 作一般点：在相贯线的水平投影上定出左右、前后对称的四个点 E、F、G、H 的投影 e、f、g、h，由此可在相贯线的侧面投影上作出 e''、f''、g''、h''。由 e、f、g、h 和 e''、f''、g''、h''可作出 e'、f'、g'、h'。

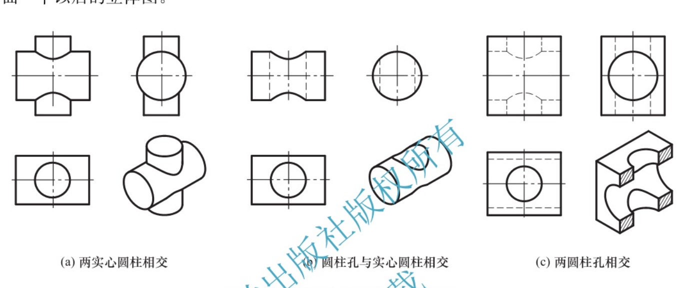
(3) 按相贯线水平投影所显示的各点的顺序，连接各点的正面投影，即得相贯线的正面投影。对正面投影而言，前半相贯线在两个圆柱的可见表面上，所以其正面投影 $a'e'c'f'b'$ 为可见；而后半相贯线的投影 $a'g'd'h'b'$ 为不可见，与前半相贯线的可见投影相重合。

两轴线垂直相交的圆柱在零件上是最常见的，它们的相贯线一般有图 3.29 所示的三种形式。

(1) 图 3.29(a)表示小的实心圆柱全部贯穿大的实心圆柱，相贯线是上下对称的两条闭合的空间曲线。

(2) 图 3.29(b)表示圆柱孔全部贯穿实心圆柱，相贯线也是上下对称的两条闭合的空间曲线，且就是圆柱孔壁的上、下孔口曲线。

(3) 图 3.29(c)所示的相贯线是长方体内部两个圆柱孔的孔壁的交线，同样是上下对称的两条闭合的空间曲线。在投影图右下方所附的是这个具有圆柱孔的长方体被切割掉前面一半以后的立体图。

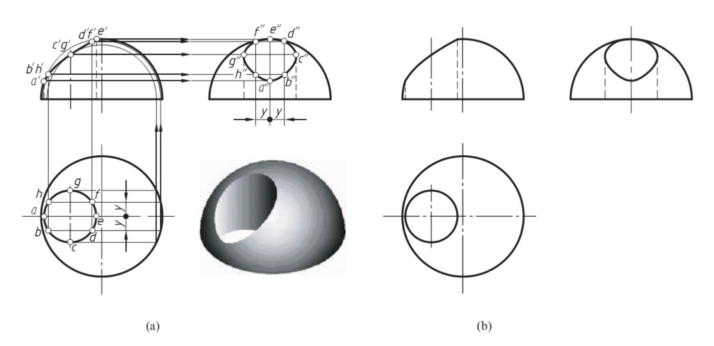


(a) 两实心圆柱相交　(b) 圆柱孔与实心圆柱相交　(c) 两圆柱孔相交

图 3.29　两圆柱相贯线的常见情况

实际上，在这三个投影图中所示的相贯线，具有同样的形状，而且求这些相贯线投影的作图方法也是相同的。

【例 3－11】 如图 3.30(a)所示，已知在半球上穿通了一个圆柱孔，要求补全这个穿孔半球的正面投影和侧面投影。



(a)　(b)

图 3.30　补全具有穿孔的半球的正面投影和侧面投影

解：先分析相贯线：从图 3.30(a)所示的已知条件可知，半球与圆柱孔有共同的前后对称面，所以孔口曲线(相贯线)也是前后对称的。半球被圆柱孔穿通后有两条相贯线，即半球的球面与孔壁圆柱面的交线，以及半球的底面与孔壁圆柱面的交线：前者是一条闭合的空间曲线，它的水平投影积聚在圆柱孔壁的有积聚性的投影上，正面投影由于前后对称而前半相贯线和后半相贯线的投影互相重合，侧面投影也应显示前后对称；后者是一个水平圆，它的水平投影也积聚在圆柱孔壁的有积聚性的投影上，正面投影、侧面投影则分别重合在半球底面的有积聚性的正面投影、侧面投影上。由此可见，只要作出球面与孔壁圆柱面的相贯线(也就是孔口曲线)的正面投影和侧面投影就可以了。

此外，还应注意，不仅在正面投影中要画出孔壁圆柱面的正面投影转向轮廓线(最左、最右素线的正面投影)，也要画出孔壁圆柱面的侧面投影转向轮廓线(最前、最后素线的侧面投影)。

通过上述分析可以想象出这个具有穿通圆柱孔的半球的形状如图 3.30(a)右下角所附的立体图所示。

作图过程如图 3.30(a)所示。

(1) 作特殊点：先在相贯线的水平投影上定出最左、最右、最前、最后点 A、E、C、G 的投影 a、e、c、g。由 a、e 在半球面的正面投影转向轮廓线上定出 a'、e'，显然，点 A、E 同时也分别是最低、最高点。分别用在半球面上通过 C、G 的平行于正面的半圆(它们的正面投影互相重合)，就可由 c、g 作出互相重合的 c'、g'。由于这个具有穿通圆柱孔的半球前后对称，就可按水平投影中所显示的孔径作出这个圆柱孔的最左、最右、最前、最后素线的侧面投影，最左、最右素线的侧面投影与前后对称面的侧面投影(即图中已画出的点画线)相重合，而最前、最后素线的侧面投影则是孔壁圆柱面的侧面投影的转向轮廓线，因为不可见而画虚线。由 a'、e'、c'、g' 即可分别在最左、最右、最前、最后素线的侧面投影上作出 a''、e''、c''、g''。

(2) 作一般点：在相贯线的水平投影上，定出与前后对称面相距 y 的四个点 B、D、H、F 的投影 b、d、h、f，分别用在半球面上通过 B 和 D、H 和 F 的平行于正面的半圆(它们的正面投影互相重合)，就可由 b、d、h、f 作出 b'、d'、h'、f'，b' 与 h'、d' 与 f' 分别互相重合。从 b'、d'、h'、f' 引正面投影与侧面投影的投影连线，由 b、d、h、f 按宽相等(与前后对称面的距离 y)和前后对应即可作出 b''、d''、h''、f''。

(3) 按相贯线在水平投影中所显示的各点的顺序，连接各点的正面投影，就作出了相贯线的正面投影，由于前后对称，所以前半和后半相贯线的正面投影 $a'b'c'd'e'$ 和 $a'h'g'f'e'$ 相重合。按同样的顺序连接各点的侧面投影，作出相贯线的侧面投影，由于孔口曲线(相贯线)在左半球面上，所以相贯线的侧面投影是可见的。

图 3.30(b)所示是作图结果，也就是这个具有穿通圆柱孔的半球的三面投影，实际上，在图 3.30(a)的正面投影中用双点画线(假想投影线)所画出的半球穿孔后已不存在的一段转向轮廓线是不必画出的。

【例 3-12】 如图 3.31(a)所示，求作轴线不相交、直径不相等的两圆柱的相贯线，补全相贯体的正面投影。在大圆柱的正面投影范围内，由于小圆柱正面投影的转向轮廓线的端点和可见性都尚未确定，所以在图 3.31(a)中均用双点画线表示。

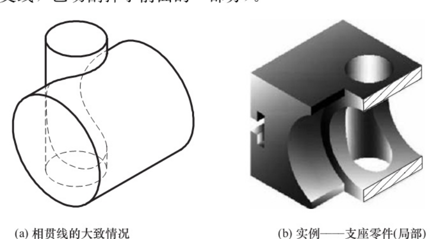
解：先从两个圆柱及其相对位置来分析相贯线的大致情况：由图 3.31(a)中的已知条件可以看出，由于大、小圆柱相互贯穿，不是小圆柱面的全部素线都贯穿大圆柱面，所以相贯线是一条闭合的空间曲线。由于这两个圆柱具有共同的左右对称面和上下对称面，所

(a)　(b)

(c)　(d)

图 3.31　作轴线不相交、直径不相等的两圆柱的相贯线

以相贯线也是左右、上下对称的。由此可以想象出相贯线的大致情况如图 3.32(a)的立体图所示。图 3.32(b)所示是这种相贯线的实例——支座零件，不过这个零件上不是两个实心圆柱相交，而是两个圆柱孔的孔壁相交(图 3.32(b)所示的这个零件的立体图为了比较清楚地显示孔壁交线，已切割掉了前面的一部分)。



(a) 相贯线的大致情况　(b) 实例——支座零件(局部)

图 3.32　相贯线的分析和实例

由图 3.31(a)中的已知条件还可看出，由于小圆柱面的水平投影和大圆柱面的侧面投影都有积聚性，所以相贯线的水平投影就重合在大圆柱水平投影范围内的小圆柱面的有积聚性的投影上，且上半、下半相贯线的投影互相重合；而相贯线的侧面投影则重合在小圆柱侧面投影范围内的大圆柱面的有积聚性的投影上，且左半、右半相贯线的投影也互相重合。于是问题就可归结为已知相贯线的水平投影和侧面投影，求作它的正面投影。

作图过程如图 3.31 所示。

(1) 如图 3.31(a)所示，在相贯线的水平投影和侧面投影上，定出最前点 A、B 和最后点 C、D 的投影 a、b、c、d 和 a''、b''、c''、d''，从而作出 a'、b'、c'、d'。从侧面投影中可见，点 A、B 分别是最高、最低点，点 A、B 又是最前点，点 C、D 则是最后点。

(2) 如图 3.31(b)所示，在相贯线的水平投影和侧面投影上，定出最左点 E、G 和最右点 F、H 的投影 e、f、g、h 和 e''、f''、g''、h''从而作出 e'、f'、g'、h'。e'、f'和 g'、h'，分别是小圆柱面正面投影的左、右两条转向轮廓线的上、下两段的端点。

(3) 如图 3.31(c)所示，在已作出的相贯线上的点较稀疏之处，于相贯线的水平投影上再定出左右、上下对称的一般点 I、K、J、L 的投影 i、k、j、l，由此相应地在相贯线的侧面投影上作出 i''、k''、j''、l''，并由 i、k、j、l 和 i''、k''、j''、l''作出 i'、k'、j'、l'。按相贯线上各点在水平投影和侧面投影中的顺序，将它们的正面投影连成相贯线的正面投影。从水平投影和侧面投影可见，小圆柱与大圆柱的后半圆柱面相交，因而大圆柱面正面投影的上下两条转向轮廓线都是完整的，但由于这两个圆柱形成的相贯体是一个整体，小圆柱面正面投影的左右两条转向轮廓线只存在 e'、f'之上的和 g'、h'之下的线段。因为相贯线和小圆柱的最左、最右素线都在大圆柱的前半圆柱面之后，所以相贯线的正面投影以及在大圆柱投影范围内的小圆柱面正面投影的转向轮廓线都不可见，画成虚线。

作图结果如图 3.31(d)所示。

3.4.2 辅助平面法

作两回转体的相贯线时，可以用与两个回转体都相交(或相切，有切线)的辅助平面切割这两个立体，则两组截交线(或切线)的交点是辅助平面和两回转体表面的三面共点，即为相贯线上的点。这种求作相贯线的方法称为辅助平面法。

前面所讲述的利用积聚性取点求作相贯线的几个例图也都可以用辅助平面法求解。如图 3.31 所示的求作两圆柱的相贯线的例题，可以如图 3.33(a)所示，作平行于两圆柱轴线的辅助平面 P，分别与这两个圆柱面交得一对素线，它们的交点就是相贯线上的点；也可如图 3.33(b)所示，作平行于其中一个圆柱的轴线和垂直于另一个圆柱的轴线的辅助平面 Q，与这两个圆柱面分别交得一对素线和一个水平圆，它们的交点同样也是相贯线上的点。用几个这样的平面作出相贯线上的若干点就能连成相贯线。应该指出的是，为了能方便地作出相贯线上的点，最好选用特殊位置平面作为辅助平面，并使辅助平面与两回转体的截交线的投影为最简单，如截交线为直线或平行于投影面的圆。

【例 3-13】 如图 3.34(a)所示，求作圆柱和圆锥的相贯线，补全相贯体的水平投影。在圆锥的水平投影范围内，由于圆柱面水平投影的转向轮廓线的端点尚未确定，所以在图形所示的已知条件中暂用双点画线表示。

解： 先由图 3.34(a)中已知条件所示的圆柱、圆锥及其相对位置来分析相贯线的大致情况。从已知条件可以看出，由于圆柱从左边全部穿进圆锥，所以相贯线是一条闭合的空

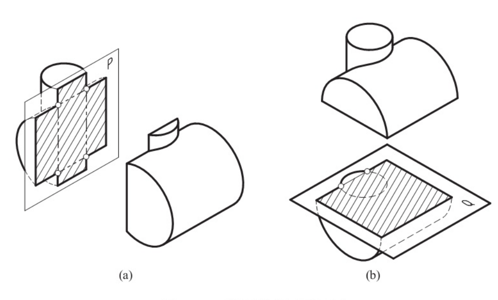


图 3.33　选择辅助平面示例

间曲线。又由于这两个曲面立体有公共的前后对称面，所以相贯线也前后对称，前半相贯线与后半相贯线的正面投影将互相重合。于是就可想象出圆柱和圆锥的相贯线的大致形状与图 3.35 所示实例中的圆柱和圆台的相贯线相类似。

由于圆柱面的侧面投影有积聚性，相贯线的侧面投影也必定重合在其上，于是问题可归结为已知圆锥面上相贯线的侧面投影，求作它的正面投影和水平投影，可利用积聚性取点，也可用辅助平面法求解。下面采用辅助平面法求解，并进行具体分析和说明作图过程。

为了使辅助平面能与圆柱面、圆锥面相交于素线或平行于投影面的圆，对圆柱而言，辅助平面应平行或垂直于柱轴；对圆锥而言，辅助平面应垂直于锥轴或通过锥顶。综合上述情况，只能选择如图 3.35(b)所示的两种辅助平面平行于柱轴且垂直于锥轴或通过锥顶且平行于柱轴。

(1) 平行于柱轴，同时也垂直于锥轴，即水平面。

(2) 通过锥顶，且平行于柱轴，即通过锥顶的一些侧垂面以及过锥顶的正平面。

根据上述分析，作图过程如图 3.34 所示。

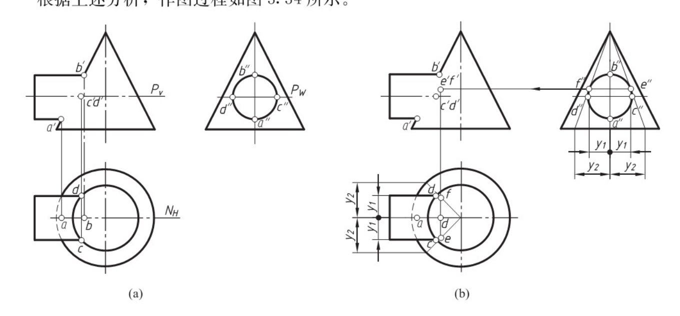


图 3.34　作圆柱和圆锥的相贯线投影

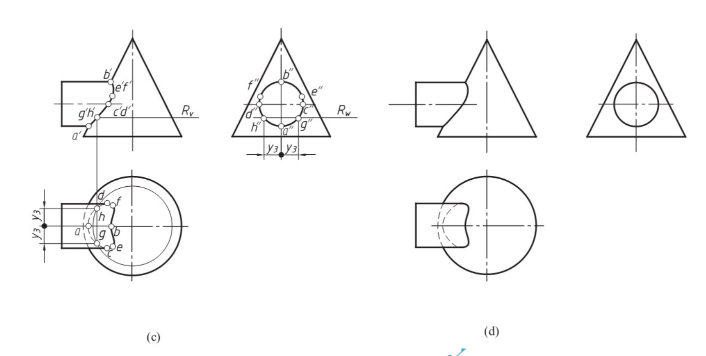


图 3.34　作圆柱和圆锥的相贯线投影(续)

(1) 如图 3.34(a)所示，通过锥顶作正平面 N，与圆柱面相交于最高、最低两素线，与圆锥面交于最左素线，在它们的正面投影的相交处，作出相贯线上的最高点 B 和最低点 A 的正面投影 b' 和 a'。由 b'、a' 分别在 N_H 和 N_W 上作出 b、a 和 b''、a''。

通过柱轴作水平面 P，与圆柱面相交于最前、最后两素线，与圆锥面相交于水平纬圆，在它们的水平投影的相交处，作出相贯线上的最前点 C 和最后点 D 的水平投影 c 和 d。由 c、d 分别在 P_V、P_W 上作出 c'、d' (c'、d' 互相重合)和 c''、d''。

由于 c 和 d 就是圆柱面水平投影的转向轮廓线的端点，因此也就确定了圆柱面水平投影的转向轮廓线的范围。

(2) 如图 3.34(b)所示，通过锥顶作与圆柱面相切的侧垂面 Q，与圆柱面相切于一条素线，其侧面投影积聚在 Q_W 与圆柱面侧面投影的切点处；与左圆锥面相交于一条素线，其侧面投影与 Q_W 相重合。这两条素线的交点 E，就是相贯线上的点，其侧面投影 e'' 就重合在圆柱面的切线的侧面投影上。由 Q 面与圆柱面的切线和 Q 面与圆锥面的交线的侧面投影作出它们的水平投影，其交点就是点 E 的水平投影 e。再由 e 和 e'' 作出 e'。

同理，通过锥顶作与圆柱面相切的侧垂面 S，也可作出相贯线上的点 F 的三面投影 f''、f 和 f'。点 E 和 F 是相贯线上的一对前后对称点，e' 与 f' 相互重合。

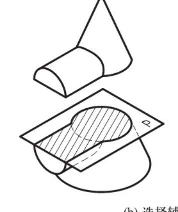
点 E 和 F 也是确定相贯线范围的特殊点，即相贯线位于通过点 E、F 的两素线之间的左锥面上。

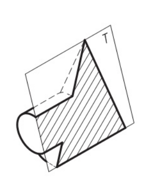
(3) 如图 3.34(c)所示，在已作出的相贯线上的点较稀疏之处，作水平面 R 与圆柱面相交于两条素线，其侧面投影分别积聚在 R_W 与圆柱面侧面投影的交点处与圆锥面相交于水平纬圆，其侧面投影重合于 R_W。这两条素线和水平纬圆的交点 G、H，就是相贯线上的点，其侧面投影 g''、h'' 分别重合在这两条圆柱面素线的侧面投影上。作出这两条素线和水平纬圆的水平投影，在它们的交点处得出 g、h。由 g、h 在 R_V 上作出互相重合的 g'、h'。

按侧面投影中各点的顺序，将各点的正面投影、水平投影分别连成相贯线的正面投影、水平投影。按照“只有同时位于两立体可见表面上的相贯线，其投影方可见”的原



(a) 相贯线的大致形状与实例





(b) 选择辅助平面

图 3.35　分析相贯线和选择辅助平面

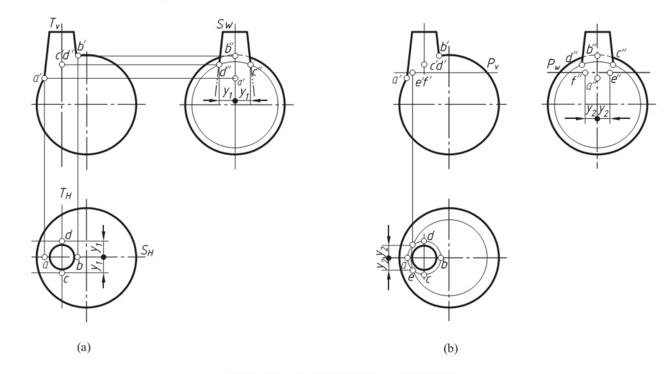
则，可以判断：$cebfd$ 可见；$dhagc$ 不可见，$b'e'c'g'a'$ 可见；$b'f'd'h'a'$ 不可见，且与 $b'e'c'g'a'$ 重合。

根据圆柱和圆锥的相对位置可以看出，圆柱面的最前、最后素线的水平投影是可见的，所以在圆锥面的水平投影范围内的圆柱面水平投影的转向轮廓线是可见的。

作图结果如图 3.34(d)所示。

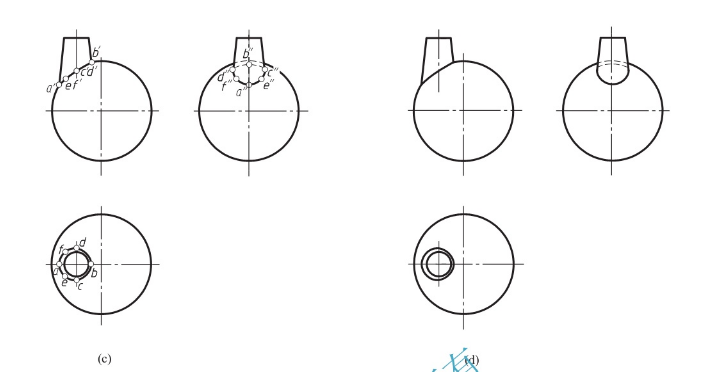
【例 3 - 14】 如图 3.36(a)所示，求作圆台和球的相贯线，补全相贯体的侧面投影。由于圆台表面的侧面投影的转向轮廓线的端点尚未确定，所以在图形所示的已知条件中暂用双点画线表示。

解： 先由圆台、球以及它们的相对位置来分析相贯线的大致情况。从已知条件可以看出，圆台的轴线不通过球心，但圆台和球有公共的前后对称面，圆台从球的左上方全部穿进球体。因此，相贯线是一条前后对称的闭合的空间曲线，可以想象出相贯线的大致形状如图 3.37(a)所示的实例轴承盖(图中只画出了半个轴承盖)表面上的相贯线。



(a)　　(b)

图 3.36　作圆台和球的相贯线投影



(c)　　　　(d)

图 3.36　作圆台和球的相贯线投影(续)

由于这两个立体的曲面表面的投影都没有积聚性，所以不能利用积聚性取点作相贯线的投影，但可用辅助平面法求出。因为相贯线前后对称，所以前半相贯线与后半相贯线的正面投影互相重合。

为了使辅助平面能与圆台和球都相交于直线或平行于投影面的圆，对圆台而言，辅助平面应通过圆台延伸后的锥顶或垂直于圆台的轴线；对球而言，辅助平面可选用投影面平行面。综合这两种情况，辅助平面除了可选用过圆台轴线的正平面和侧平面外，应选用水平面，如图 3.37(b)所示。

根据上述分析，作图过程如图 3.36 所示。

(1) 如图 3.36(a)所示，作圆台和球的公共对称面 S，与圆台表面相交于最左、最右素线，与球面相交于平行正面的大圆，在它们的正面投影的相交处，作出相贯线在圆台表面最左、最右素线上的点 A、B 的正面投影 a'、b'，再由 a'、b'作出 a、b 和 a''、b''。

作通过圆台轴线的侧平面 T，与圆台表面相交于最前、最后素线，与球面相交于侧平圆，作出它们的侧面投影的交点 c''、d''，即为相贯线在圆台表面最前、最后素线上的点 C、D 的侧面投影，也就是圆台表面的侧面投影转向轮廓线的端点。再由 c''、d''作出 c''、d''(c'、d'互相重合)和 c、d。

(2) 如图 3.36(b)所示，在点 A 和 C、D 之间作水平面 P，与圆台表面、球面分别相交于水平的纬圆，作出它们的水平投影的交点 e、f，即为相贯线上两个一般点 E、F 的水平投影，再由 e、f 作出 e'、f'(e'、f'互相重合)和 e''、f''。

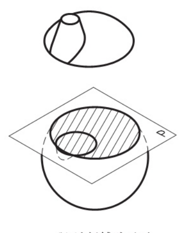
(3) 如图 3.36(c)，按顺序连接所作出的各点的同面投影，即得相贯线的三面投影。按确定相贯线投影可见性的原则可以判定：相贯线的水平投影 $aecbdfa$ 全部可见；正面投影 $a'e'c'b'$可见、$a'f'd'b'$不可见，两者互相重合；侧面投影 $c''e''a''f''d''$可见、$d''b''c''$不可见。

因为圆台表面的最前、最后素线位于球面的左右分界圆的左方，所以圆台表面的侧面投影的转向轮廓线是可见的。

作图结果如图 3.36(d)所示。



(a) 相贯线的大致形状与实例——轴承盖(局部)



(b) 选择辅助平面

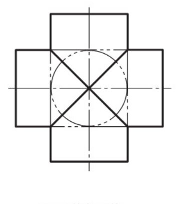
图 3.37　分析相贯线和选择辅助平面

3.4.3　相贯线的特殊情况

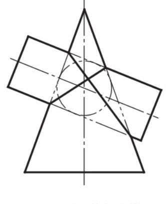
在一般情况下，两回转体的相贯线是空间曲线，但是，在某些特殊情况下，也可能是平面曲线或直线。下面介绍相贯线为平面曲线的两种比较常见的特殊情况。

(1) 轴线相交，且平行于同一投影面的圆柱与圆柱、圆柱与圆锥、圆锥与圆锥相交，若它们能公切一个球，则它们的相贯线是垂直于这个投影面的椭圆。

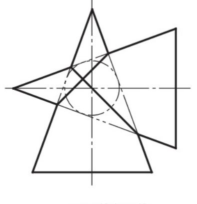
图 3.38 中所示的圆柱、圆柱与圆锥、圆锥与圆锥相交，轴线都分别相交，并且都平行于正面，还可公切一个球，因此，它们的相贯线都是垂直于正面的两个椭圆，只要连接它们的正面投影的转向轮廓线的交点，得两条相交直线，即相贯线(两个椭圆)的正面投影。图 3.38 只分别画出了相贯体的正面投影。



(a) 圆柱与圆柱



(b) 圆柱与圆锥



(c) 圆锥与圆锥

图 3.38　切于同一个球面的圆柱、圆锥的相贯线

(2) 两个同轴回转体(轴线在同一直线上的两个回转体)的相贯线是垂直于轴线的圆。

如图 3.39 所示的手柄，它的主体是一个具有铅垂的圆柱通孔的球，被两个水平面截去上、下各一块，截交线分别都是水平圆(上面的截交圆较下面的截交圆小一些)；右侧是一个组合回转体(由圆台和与它相切的球构成)。由于右侧的组合回转体的轴线通过主体球

的球心，因此它们可以看作是两个同轴回转体相交，它们的相贯线是垂直于轴线的圆。因为图中的轴线是正平线，所以相贯线是处于正垂面位置的圆，它的正面投影成为直线，水平投影是椭圆。

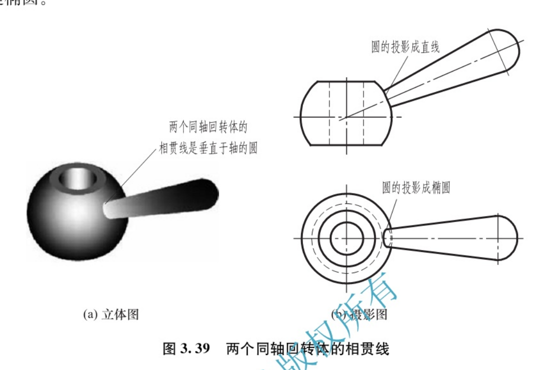


图 3.39　两个同轴回转体的相贯线

复习思考题

1. 怎样在投影图中表示平面立体？怎样在投影图中判断和表明平面立体的内外轮廓线的可见性？

2. 曲面投影的转向轮廓线是怎样形成的？它是曲面上什么线的投影？对曲面投影的可见性有什么意义？

3. 怎样在投影图中表示曲面立体？怎样在投影图中判断和表明曲面立体轮廓线的投影以及曲面投影的转向轮廓线的可见性？

4. 试比较作平面上的点和作曲面上的点的方法有何异同之处。

5. 截交线是怎样形成的？为什么平面立体的截交线一定是平面上的多边形？多边形的顶点和边分别是平面立体上的哪些几何元素与截平面的交点和交线？

6. 曲面立体的截交线通常是什么形状？也可能出现其他的哪些形状？

7. 什么样的点是曲面立体截交线上的特殊点？什么样的点是曲面立体截交线上的一般点？当作全部特殊点后，应在什么地方再作一些一般点？

8. 两曲面立体的相贯线的基本性质是什么？如何判断相贯线投影的可见性？

9. 有哪些因素可能影响相贯线的形状变化？在两曲面立体的相贯线上，能确定其形状和范围的特殊点主要有哪些？

第4章 制图的基本知识

4.1　国家标准的有关规定

机械图样是设计和制造机械过程中的重要资料，是交流技术思想的语言，是工程技术部门的一项重要技术文件，因此，必须对其画法、尺寸注法等作统一规定。

技术制图国家标准是一套通用性的基础技术标准，机械制图国家标准是一套具体性的专业制图标准，它们是图样的绘制与识读的准则和依据。我们必须认真学习和遵守这些规定。国家标准(简称“国标”)的代号为“GB”。

本节只介绍技术制图和机械制图国家标准中图纸幅面、比例、字体、图线和尺寸标注的基本规定中的主要内容，其余内容将在后面章节中逐一叙述。

4.1.1　图纸幅面及格式和标题栏

1. 图纸幅面

为了使图纸幅面统一，便于装订和保管以及符合缩微复制原件的要求，绘制技术图样时，应按以下规定选用图纸幅面。

(1) 绘制图样时，应优先采用表4-1所规定的基本幅面。

表4-1　基本幅面尺寸　　（单位：mm）

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
B*×*L	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
a	25				
c	10			5	
e	20		10		

(2) 必要时也允许选用加长幅面，加长幅面及其图框尺寸在 GB/T 14689—2008《技术制图 图纸幅面及格式》中另有规定。

2. 图框格式

图纸上限定绘图区域的线框称为图框。图框在图纸上必须用粗实线画出，图样绘制在图框内部。其格式分为需要装订(见图 4.1)和不需要装订(见图 4.2)两种，应优先采用不需装订的格式，但为了在修毕本课程后能将制图作业装订成册保存，以备修读后续课程时参考，所以制图作业也常采用需要装订的图框格式，一般采用 A4 幅面竖装或 A3 幅面横装，但同一产品的图样只能采用一种格式。

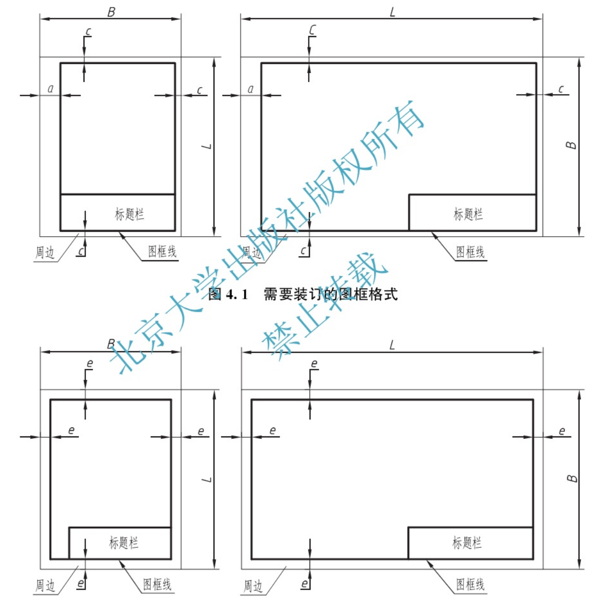


图 4.1　需要装订的图框格式

图 4.2　不需要装订的图框格式

3. 标题栏

每张图纸都必须画出标题栏，标题栏的位置应位于图纸的右下角，GB/T 10609.1—2008《技术制图 标题栏》对标题栏的内容、格式和尺寸作了统一规定，技术制图所规定的标题栏格式如图 4.3 所示，制图作业中建议采用图 4.4 所示的标题栏格式。

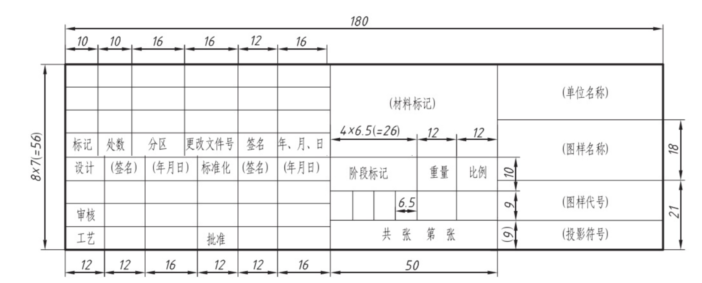


图 4.3　技术制图用标题栏格式



图 4.4　制图作业用标题栏格式

4.1.2　比例

图中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比称为比例。

按照 GB/T 14690—1993《技术制图 比例》规定，比例符号应以"∶"表示，如 1∶1 或 1∶2 等。比例一般应标注在标题栏的比例栏内，必要时也可标注在视图名称的下方或右侧。

为了使图样直接反映实物的大小，绘图时应优先采用原值比例。若机件太大或太小，可采用缩小或放大的比例绘制。选用比例的原则是有利于图形的清晰表达和图纸幅面的有效利用。不论采用何种比例，图形中所标注的尺寸数值必须是实物的实际大小，与图形的比例无关。绘图时，应从表 4-2 规定的系列中选取不带括号的适当比例，必要时也允许选用表 4-2 中带括号的比例。

表 4-2　绘图的比例

原值比例	1∶1
缩小比例	(1∶1.5)　1∶2　(1∶2.5)　(1∶3)　(1∶4)　1∶5　(1∶6)　1∶1×10^n(1∶1.5×10^n)　1∶2×10^n(1∶2.5×10^n)(1∶3×10^n)(1∶4×10^n)1∶5×10^n(1∶6×10^n)
放大比例	2∶1　(2.5∶1)　(4∶1)　5∶1　1×10^n∶1　2×10^n∶1　(2.5×10^n∶1)(4×10^n∶1)　5×10^n∶1

注：n 为正整数。

4.1.3 字体

在图样上除了表示机件形状的图形外，还要用文字、数字和字母来说明机件的大小、技术要求和其他内容。GB/T 14691—1993《技术制图 字体》中对字体有明确要求。

1. 基本要求

(1) 在图样中书写的字体必须做到："字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐"。

(2) 字体的号数，即字体的高度 h。其公称尺寸系列为：1.8mm，2.5mm，3.5mm，5mm，7mm，10mm，14mm，20mm。如需要书写更大的字，其字体高度应按$\sqrt{2}$的比例递增。

(3) 汉字应写成长仿宋体字，并应采用国家正式公布推行的简化字。汉字的高度不应小于 3.5mm，其字宽一般为 $h\sqrt{2}$。

(4) 字母和数字分 A 型和 B 型。A 型字体的笔画宽度为字高的 1/14；B 型字体的笔画宽度为字高的 1/10。在同一图样上，只允许选用一种型式的字体。

(5) 字母和数字可写成斜体或直体，常用斜体。斜体字字头向右倾斜，与水平基准线成 75°。

2. 字体示例

字体示例见表 4-3。

表 4-3 字体示例

长仿宋体汉字示例	10 号字	字体工整 笔画清楚 间隔均匀 排列整齐
	7 号字	横平竖直注意起落结构均匀填满方格
	5 号字	技术制图机械电子汽车航空船舶土木建筑矿山 井坑港口纺织服装
	3.5 号字	螺纹齿轮端子接线飞行引导驾驶舱位挖填施工引水通风闸阀棉麻化纤
拉丁字母 A 型字体	大写斜体	*ABCDEFGHIGKLMNOPQRSTUVWXYZ*
	小写斜体	*abcdefghigklmnopqrstuvwxyz*
阿拉伯数字 A 型斜体		*0 1 2 3 4 5 6 7 8 9*

（续）

罗马数字 A 型斜体	*I　II　III　IV　V　VI　VII　VIII　IX　X　XI　XII*
综合应用示例	$10^{\circ}C$　D_1　T_D　$\phi 20^{+0.05}_{-0.03}$　$25^{\circ}{}^{+4^{\circ}}_{+2^{\circ}}$　$\frac{3}{8}$ $\phi 25\frac{H6}{m5}$　$\frac{II}{2:1}$　$\frac{A向旋转}{5:1}$　$\sqrt{Ra\ 6.3}$ 10Js5(±0.003)　M24-6h　R8　5% 220V　5kV　380kPa　460r/min

4.1.4　图线及其画法

1．线型及应用

绘图时应采用国家标准规定的图线型式和画法。GB/T 17450—1998《技术制图图线》规定了机械制图中所用图线的一般规则，适用于机械工程图样。

机械图样中采用粗细两种图线宽度，它们的比例为 2∶1，设粗线的宽度为 d，d 应在 0.25mm、0.35mm、0.5mm、0.7mm、1mm、1.4mm、2mm 中根据图样的类型、尺寸、比例的要求确定，优先采用 d=0.5mm 或 0.7mm。图线的线型及主要用途见表 4－4。图线应用示例如图 4.5 所示。

表 4－4　图线的线型及主要用途

图线名称	图线型式	线宽	主要用途
粗实线	━━━━━━━━	d	可见轮廓线、相贯线、螺纹牙顶线、齿顶圆等
细实线	────────	$d/2$	尺寸线、尺寸界线、剖面线、指引线和基准线、重合断面的轮廓线、过渡线、短中心线、螺纹牙底线
波浪线	～～～～	$d/2$	断裂处的边界线、视图与剖视图的分界线
双折线	─╲/─────╲/─	$d/2$	断裂处的边界线、视图与剖视图的分界线
粗虚线	━ ━ ━ ━ ━ ━	d	允许表面处理的表示线
细虚线	─ ─ ─ ─ ─ ─	$d/2$	不可见轮廓线
粗点画线	━━ · ━━ · ━━	d	限定范围表示线
细点画线	── · ── · ──	$d/2$	轴线、对称中心线、分度圆、孔系分布的中心线、剖切线
细双点画线	── ·· ── ·· ──	$d/2$	相邻辅助零件轮廓线、可动零件的极限位置的轮廓线、成型前轮廓线、剖切面前的结构轮廓线、轨迹线等

2．图线画法

绘图时图线的画法如图 4.6 所示。

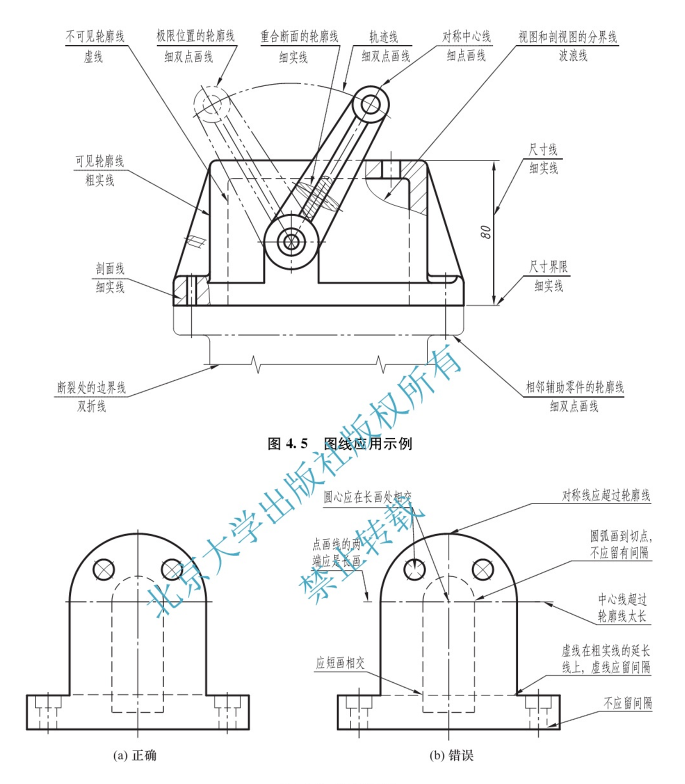


图 4.5　图线应用示例

图 4.6　图线画法

（1）在同一图样中，同类图线的宽度应基本一致。虚线、点画线及双点画线的短画、长画的长度和间隔应各自大小相等。

（2）绘制圆的对称中心线(简称中心线)时，圆心应为长画的交点。点画线和双点画线的首末两端应是长画而不是短画。

（3）在较小的图形上绘制点画线、双点画线有困难时，可用细实线代替。

（4）轴线、对称线、中心线、双折线和作为中断线的双点画线，应超出轮廓线2～5mm。

（5）点画线、虚线和其他图线相交时，都应在长画、短画处相交，不应在间隔或点处

相交。

(6) 当虚线处于粗实线的延长线上时，粗实线应画到分界点，而虚线应留有间隔。当虚线圆弧和虚线直线相切时，虚线圆弧的短画应画到切点，而虚线直线应留有间隔。

此外还应注意：两条平行线之间的距离不应小于粗线线宽的两倍。

4.1.5 尺寸注法

图样中的图形仅能表达机件的结构形状，其各部分的大小和相对位置关系还必须由尺寸来确定。所以，尺寸是图样中的重要内容之一，是制造、检验机件的直接依据。下面介绍 GB/T 19096—2003《技术制图 图样画法 未定义形状边的术语和注法》和 GB/T 4458.4—2003《机械制图 尺寸注法》中关于正确标注尺寸的基本规定，其余内容将在后面的有关章节中阐述。

1. 基本规则

(1) 机件的真实大小应以图样上所注的尺寸数值为依据，与图形的大小及绘图的准确度无关。

(2) 图样中(包括技术要求和其他说明)的尺寸以 mm 为单位时，不需标注计量单位的代号或名称，如采用其他单位，则应注明相应的单位符号。

(3) 图样中所标注的尺寸为该图样所示机件的最后完工尺寸，否则应另加说明。

(4) 机件的每一尺寸一般只标注一次，并应标注在反映该结构最清晰的图形上。

2. 尺寸组成

如图 4.7 所示，一个完整的尺寸一般应包括尺寸界线、尺寸线、尺寸数字三个基本要素。

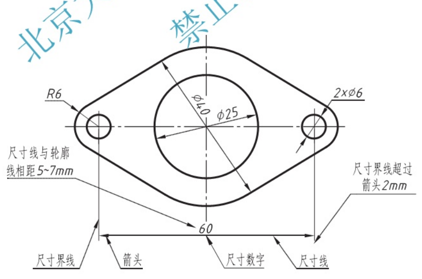


图 4.7　尺寸的组成示例

(1) 尺寸界线。尺寸界线表明所注尺寸的范围，用细实线绘制，并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线引出，也可直接利用这些线作为尺寸界线。如图 4.8 所示，尺寸界线一般应与尺寸线垂直，且超过尺寸线箭头 2～5mm；当尺寸界线过于贴近轮廓线时，也允许倾斜画出；在光滑过渡处标注尺寸时，必须用细实线将轮廓线延长，并从它们的交点处引出尺寸界线。

(2) 尺寸线。尺寸线表明度量尺寸的方向，必须用细实线单独绘制，不能用任何图线代替，也不得画在其他图线的延长线上。

线性尺寸的尺寸线应与所标注的线段平行，其间隔或平行的尺寸线之间的间隔尽量保持一致，间隔一般为字高的 2 倍。尺寸线与尺寸线之间或尺寸线与尺寸界线之间不能相交，为此，在标注并联尺寸时，应将小尺寸放在里面，大尺寸放在外面，如图 4.9 所示。

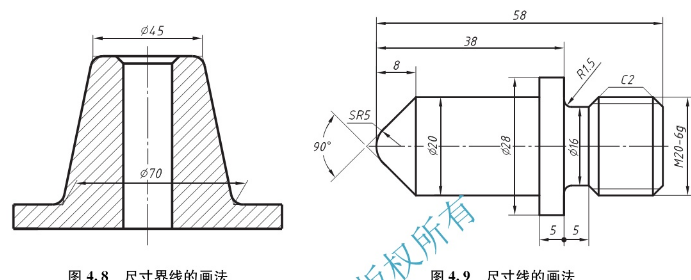
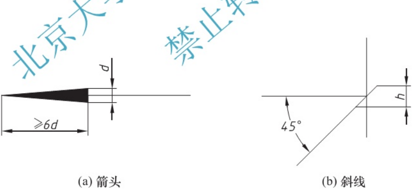


图 4.8　尺寸界线的画法　　**图 4.9　尺寸线的画法**

尺寸线的终端有箭头和斜线(当尺寸线与尺寸界线互相垂直时才用)两种形式，用来表明度量尺寸的起止，如图 4.10 所示，但在同一张图样上只能采用同一种终端形式。机械图样中一般采用箭头作为尺寸线的终端，且大小应一致，其尖端应指向并止于尺寸界线。



(a) 箭头　　(b) 斜线

图 4.10　尺寸线的终端形式

(3) 尺寸数字。尺寸数字用来表达机件的实际大小，一律用标准字体书写，在同一张图样上尺寸数字的字高应保持一致。

线性尺寸的数字一般应注写在尺寸线中间部位的上方，也允许注写在尺寸线的中断处。尺寸数字不可被任何图线所通过，当尺寸数字与图线重叠时，需将该图线断开。当图中没有足够地方标注尺寸时，可引出标注。

线性尺寸数字应按图 4.11(a)所示的方向注写，水平方向的尺寸数字字头向上，垂直方向的尺寸数字字头向左，倾斜方向的尺寸数字字头偏向斜上方，并尽可能避免在图示 30°范围内标注尺寸，当无法避免时，可按图 4.11(b)所示的形式标注。

表 4－5 中列出了常见尺寸的注法。

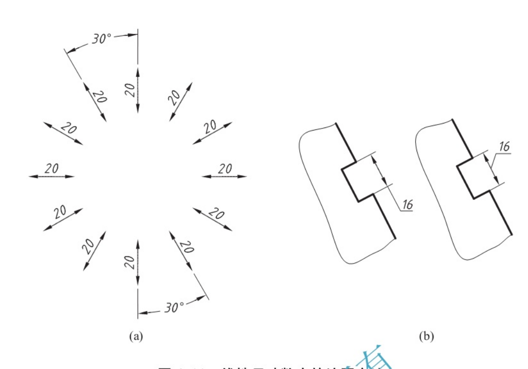


图 4.11　线性尺寸数字的注写方法

表 4-5　常见尺寸的注法

项目	图例	尺寸注法
圆		标注整圆或大于半圆的圆弧直径尺寸时，应以圆周为尺寸界线，尺寸线通过圆心，并在尺寸数字前加注直径符号“ϕ”。圆弧直径尺寸线应画至略超过圆心，只在尺寸线一端画箭头指向并止于圆弧
圆弧		标注小于或等于半圆的圆弧半径尺寸时，尺寸线应从圆心出发引向圆弧，只画一个箭头，并在尺寸数字前加注半径符号“*R*”
	(a)　(b)	当圆弧的半径过大或在图纸范围内无法标出圆心位置时，可按图(a)的折线形式标注。当不需标出圆心位置时，则尺寸线只画靠近箭头的一段，如图(b)所示

（续）

项目	图例	尺寸注法
球面		标注球面直径或半径尺寸时，应在尺寸数字前加注“Sø”或“SR”
弦长和弧长		标注弦长和弧长时，如这两个例图所示，尺寸界线应平行于弦的垂直平分线。标注弧长尺寸时，尺寸线用圆弧，并应在尺寸数字前方加注符号“⌒”
小尺寸		如左边例图所示，没有足够位置时，箭头可画在外面，或用小圆点代替两个箭头；尺寸数字也可写在外面或引出标注。圆和圆弧的小尺寸可按下两排例图标注
角度	(a) (b)	标注角度的尺寸界线应沿径向引出，尺寸线画成圆弧，其圆心为该角的顶点，半径取适当大小，如图(a)所示；角度数字一律写成水平方向，一般注写在尺寸线的中断处或上方、外边，也可引出标注，如图(b)所示

（续）

项目	图例	尺寸注法
相同的成组要素	X个　b　l　6×ø15	在同一图形中，对于尺寸相同的孔、槽等成组要素，可仅在一个要素上注出其尺寸和数量。当成组要素（如均布孔）的定位和分布情况在图中已明确时，可不标注其角度，并可省略“EQS”
	5×ø5　10　15　4×15(=60)　80	间隔相等的链式尺寸，可只注出一个间距，其余用“间距数量×间距（=距离）”形式注写
	$3\times\phi8^{+0.02}_{0}$　$3\times\phi6^{+0.058}_{0}$　2×ø9	在同一图形中具有几种尺寸数值相近而又重复的要素（如孔等）时，可采用标记（如涂色等）的方法（如图所示），也可采用标注字母或列表的方法来区别
对称机件	54　R3　40　ø15　4×ø6　26　76	当对称机件的图形只画出一半或大于一半时，或用局部剖视图或半剖视图表达机件时，尺寸线应略超过对称线或对称中心线或断裂处的边界线，仅在其一端画箭头。对称图形中相同的圆角半径或壁厚等，只注一次，如图中的 *R*3
板状零件	t2	标注板状零件的厚度时，可在尺寸数字前加注符号“*t*”

3. 尺寸注法示例

图 4.12 用正误对比的方法列举了标注尺寸时的一些常见错误。

不能以轮廓线代尺寸线　不能以中心线代尺寸线　应注直径　尺寸线应与轮廓线平行

Ø20　R22　32　16　8　20　70　R22　R10　32　16　70　20

箭头应与尺寸界线接触　箭头应按比例　尺寸数字不应被线穿越　小尺寸应在内 大尺寸应在外 以免尺寸线与尺寸界线相交

(a) 正确　　(b) 错误

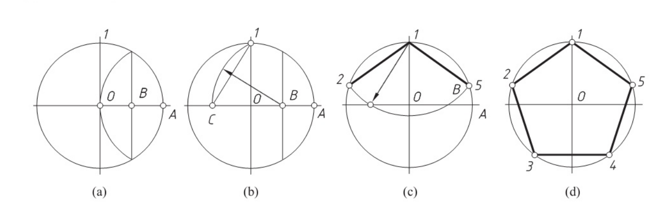
图 4.12　尺寸标注的正误对比

4.2　几何作图的画法

机件的轮廓形状基本上都是由直线、圆弧和一些其他曲线构成的几何图形，因此，绘制图样时，要掌握一些几何图形的作图方法。

4.2.1　正多边形

(1) 五等分。如图 4.13 所示，作水平半径 OA 的中点 B，以 B 为圆心，$B1$ 为半径作弧，交水平中心线于 C。以 $C1$ 为边长画弧交圆周五个等分点，即将圆五等分；依次连接各等分点即可作出圆内接正五边形。



(a)　(b)　(c)　(d)

图 4.13　五等分及圆内接正五边形画法

(2) 六等分。如图 4.14(a)所示，利用外接圆半径用圆规直接作图；如图 4.14(b)所示，用 60°三角板配合丁字尺通过水平直径的端点作四条边，再以丁字尺作上、下水平边，共得六个等分点，依次连接各等分点即得圆内接正六边形。

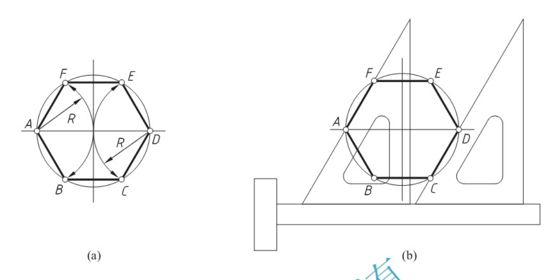


图 4.14　六等分及圆内接正六边形画法

4.2.2　斜度和锥度

(1) 斜度。斜度是指一直线对另一直线或一个平面对另一个平面的倾斜程度，在图样中以 1∶n 的形式标注。图 4.15 为斜度 1∶6 的画法：由 A 在水平线 AB 上取六个单位长度得 D。由 D 作 AB 的垂线 DE，取一个单位长度得 E。连接 AE，即得斜度为 1∶6 的直线。标注斜度符号时，其符号斜边的倾斜方向应与斜度的方向一致。

(2) 锥度。锥度是指正圆锥的底圆直径与圆锥高度之比，在图样中常以 1∶n 的形式标注。图 4.16 为锥度 1∶6 的画法：由 S 在水平线上取六个单位长度得 C，由 C 作 SO 的垂线，分别向上和向下量取半个单位长度，得 A 和 B，连接 SA 和 SB 即得锥度为 1∶6 的圆锥。标注锥度符号时，其符号的方向应与圆锥的方向一致，该符号应配置在基准线上。

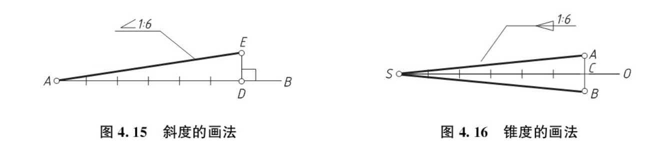


图 4.15　斜度的画法　　**图 4.16　锥度的画法**

4.2.3　圆弧连接

用一段圆弧光滑地连接另外两条已知线段(直线或圆弧)的作图方法称为圆弧连接。这种光滑过渡即是平面几何中的相切，在工程制图上称为连接。切点就是连接点。作图时应先求作连接圆弧的圆心及确定连接圆弧与已知线段的切点。圆弧连接的类型及作图方法见表 4-6。

表 4-6　圆弧连接

	已知条件	作图方法和步骤		
		求连接圆弧圆心	求切点	画连接弧
圆弧连接两已知直线	E F R M N	E R F M R N	E 切点A F O M N 切点B	E A F O R M B N
圆弧内接已知直线和圆弧	R R_1 O_1 M N	$R-R_1$ O_1 R M N	切点A O_1 O M N 切点B	A O_1 O R M B N
圆弧外接两已知圆弧	R R_1 R_2 O_1 O_2	O_1 O_2 $R+R_1$ $R+R_2$	O_1 O_2 A B 切点 切点	O_1 R O_2 A B O
圆弧内接两已知圆弧	R_1 R_2 O_1 O_2 R	O_1 O_2 $R-R_1$ $R-R_2$	切点 切点 A B O_1 O_2 O	R A B O_1 O_2 O
圆弧内外接两已知圆弧	R_1 R O_1 O_2 R_2	O_1 $R+R_1$ O_1 R_2-R	O_1 切点 A O_2 切点B	O_1 R A B O_2

4.3　平面图形的尺寸注法和线段分析

平面图形是由若干线段(直线或曲线)连接而成的，这些线段之间的相对位置和连接关系靠给定的尺寸来确定，因此要对这些线段的尺寸进行分析，明确各线段的连接关系从而确定正确的作图方法和步骤。

4.3.1　平面图形的尺寸分析

(1) 尺寸基准：标注尺寸的起点。它是定位尺寸的起始位置。一般沿着每个方向都必须有一个基准，通常以对称中心线、直线或圆的中心线作为尺寸基准。如图 4.17 中 *A* 为水平方向基准，*B* 为垂直方向基准。

(2) 定形尺寸：用于确定线段的长度、圆的直径(或圆弧的半径)和角度大小的尺寸。一般情况下，一个平面图形的定形尺寸的个数是一定的。如图 4.17 中的 15、⌀20、⌀5、*R*15、*R*12、*R*50 和 *R*10。

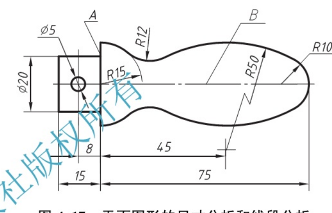


图 4.17　平面图形的尺寸分析和线段分析

(3) 定位尺寸：用于确定线段在平面图形中所处位置的尺寸。有时一个尺寸既是定位尺寸也是定形尺寸。如图 4.17 中的 8 确定了⌀5 圆心的左右方向位置，45 确定了 *R*50 的垂直方向位置，75 确定了 *R*10 的左右方向位置等。15、*R*15 等既是定位尺寸也是定形尺寸。

4.3.2　平面图形的线段分析

平面图形中的线段包括直线和圆弧，根据定位尺寸完整与否，可分为三类。

(1) 已知线段：已知两个定位尺寸和定形尺寸的线段，如图 4.17 中尺寸⌀5、⌀20、*R*15 和 *R*10。

(2) 中间线段：只知一个定位尺寸和定形尺寸的线段，如图 4.17 中尺寸 *R*50。

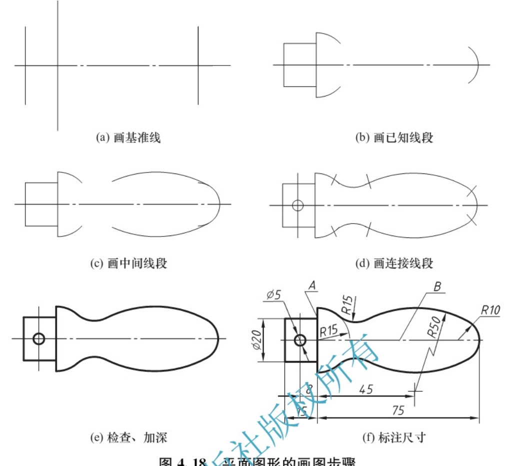
(3) 连接线段：没有定位尺寸只有定形尺寸的线段，如图 4.17 中尺寸 *R*12。

在作图时，已知线段可直接画出，中间线段虽然缺少一个定位尺寸，但可利用它和已知线段相切的条件画出，连接线段虽然没有定位尺寸，但其必然和两个已经画出的线段相切，根据圆弧连接的方法也可画出。

画图时必须按照先画已知线段，再画中间线段，最后画连接线段的顺序。

4.3.3　平面图形的画图步骤

绘制平面图形时，先定出基准，然后按照先已知线段，再中间线段，最后连接线段的顺序依次进行绘制，完成后，经检查无误再标注尺寸，最后完成图形绘制工作，如图 4.18 所示。



(a) 画基准线　(b) 画已知线段

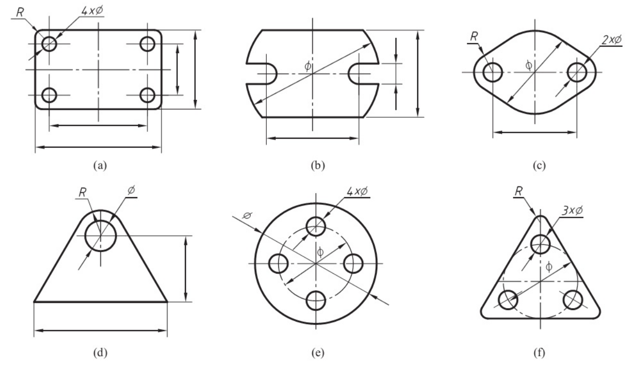
(c) 画中间线段　(d) 画连接线段

(e) 检查、加深　(f) 标注尺寸

图 4.18　平面图形的画图步骤

4.3.4　平面图形的尺寸注法

平面图形尺寸标注的基本要求是正确、完整、清晰。正确是指所标注的尺寸符合国家标准的规定；完整是指所标注的尺寸既不多也不少；清晰是指所标注的尺寸便于看图。通常先标注定形尺寸，再标注定位尺寸。图 4.19 为几种常见平面图形的尺寸注法。



(a)　(b)　(c)

(d)　(e)　(f)

图 4.19　常见平面图形的尺寸注法

4.4　绘图的方法和步骤

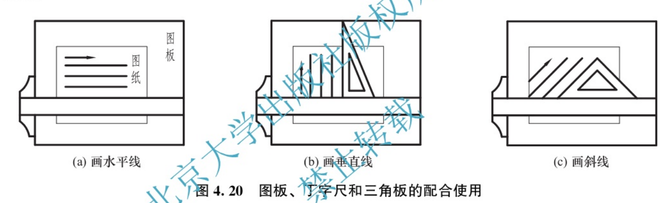
4.4.1　绘图工具和仪器的使用方法

正确使用绘图工具可以提高尺规绘图的质量和效率，因此必须学会正确使用各种绘图工具和仪器。本节介绍几种常用的绘图工具及其使用方法。

1. 图板、丁字尺和三角板

(1) 图板。画图时，需将图纸平铺在图板上，所以，图板表面必须平整光洁且富有弹性。图板的左侧边称为导边，必须平直。常用的图板规格有 0 号、1 号和 2 号三种。

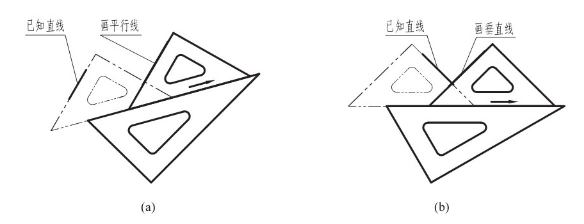
(2) 丁字尺。丁字尺主要用于画水平线，它由尺头和尺身构成。尺头和尺身的连接处必须牢固，尺头的内侧边与尺身的上边(称为工作边)必须垂直。使用时，用左手扶住尺头，将尺头内侧紧贴图板的导边，上下移动丁字尺，由左向右画水平线，如图 4.20(a)所示。



(a) 画水平线　　(b) 画垂直线　　(c) 画斜线

图 4.20　图板、丁字尺和三角板的配合使用

(3) 三角板。一副三角板由 45°、30°(60°)两块组成。将三角板与丁字尺配合使用，可以画垂直线以及与水平线成 15°倍角的倾斜线，如图 4.20(b)和图 4.20(c)所示；两块三角板配合使用可画任意已知直线的平行线或垂直线，如图 4.21 所示。



(a)　　(b)

图 4.21　两块三角板配合使用

2. 圆规和分规

(1) 圆规。圆规是用来画圆和圆弧的工具。圆规固定腿上的钢针具有两种不同形状的

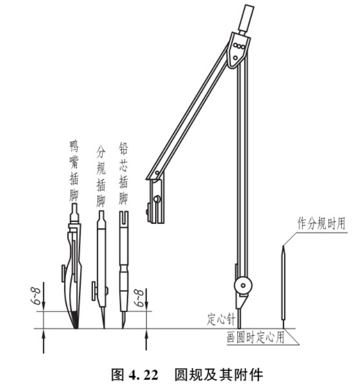


图 4.22　圆规及其附件

尖端：带台阶的尖端是画圆或圆弧时定心用的；带锥形的尖端可作分规使用。活动腿上有肘形关节，可随时装换铅芯插脚、鸭嘴插脚及作分规用的锥形钢针插脚，如图 4.22 所示。画圆或圆弧时，圆规的钢针应使用有台阶的一端，以避免图纸上的针孔不断扩大，注意调整钢针在固定腿上的位置，使两腿在合拢时钢针比铅芯稍长些，以便将针尖全部扎入图板内，如图 4.23(a)所示；按顺时针方向转动圆规，并将圆规向前进方向稍微倾斜，此时，要保证针尖和笔尖均与纸面垂直，如图 4.23(b)所示；画大圆时，可接上延长杆后使用，如图 4.23(c)所示。

(2) 分规。分规是用来截取线段、量取尺寸，等分直线或圆周的工具。分规的两腿端部有钢针，当两腿合拢时，两个针尖应重合于一点，分规等分线段时通常用试分法，如图 4.24 所示。若将图示 AB 线段五等分，可先凭自测估计将分规的两针尖张开到约为 $AB/5$ 进行试分，如有剩余(或不足)时，再将针尖间的距离张大(或缩小)$b/5$，b 为剩余或不足量，再进行试分，直到满意为止。用试分法也可等分圆或圆弧。

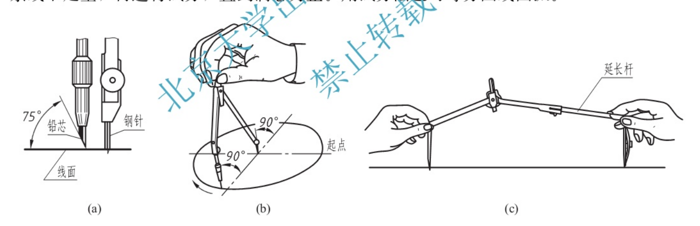


图 4.23　圆规的用法

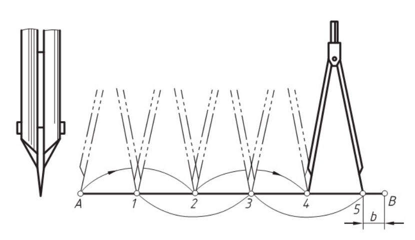


图 4.24　分规及其用法

3. 其他绘图用品

(1) 绘图铅笔。铅笔是画线的工具。绘图铅笔用“B”和“H”代表铅芯的软硬程度。“B”表示软铅芯，B前面的数字越大，表示铅芯越软(黑)；“H”表示硬铅芯，H前面的数字越大，表示铅芯越硬(淡)。“HB”表示铅芯软硬适中。画粗线常用B或HB，画细线常用H或2H，写字常用HB。画底稿时建议用H铅笔。画圆或圆弧时，圆规插脚中的铅芯应比画直线的铅芯软1号。

(2) 绘图纸。绘图时应选用纸质坚实的图纸。图纸有正反面之分，识别方法是用橡皮擦，不起毛的一面为正面。绘图时图纸应布置在图板的左下方，并应在图纸下边缘留出丁字尺的宽度。

除了上述工具外，绘图时还要备有小刀、橡皮以及胶带纸等物品。

4.4.2 仪器绘图的方法和步骤

1. 准备工作

仪器绘图的准备工作主要有以下几步：

(1) 备好绘图工具。

(2) 对图形进行尺寸分析及其线段分析。

(3) 确定比例，选择图幅，固定图纸。

(4) 拟定具体的作图顺序。

2. 绘制底稿

绘制底稿时，用H的铅笔，铅芯应经常修磨以保持尖锐，各种线型均暂不分粗细，并要画得很轻很细；作图时力求准确，画错的地方在不影响画图的情况下，可先作记号，待底稿完成后一起擦掉。

绘制底稿的一般步骤是：先画图框、标题栏，后画图形。画图时，先画基准线，再画主要轮廓，后画细部。画完后要校核，无误后画出尺寸界线和尺寸线。

3. 铅笔描深底稿

描深底稿的步骤如下：

(1) 先细后粗：一般应先描深全部细线，再描深粗实线，这样既可提高作图效率，又可保证同一线型在全图中粗细一致，不同的线型之间的粗细也符合比例关系。

(2) 先曲后直：在描深同一种线型(特别是粗实线)时，应先描深圆弧和圆，然后描深直线，以保证连接圆滑。

(3) 先水平、后垂斜：先用丁字尺自上而下画出全部相同线型的水平线，再用三角板自左向右画出全部相同线型的垂直线，最后画出倾斜的直线。

(4) 画箭头，填写尺寸数字、标题栏等(此步骤可将图纸从图板上取下来再进行)。

4.4.3 徒手绘草图的方法

在生产实践中，经常需要人们借助于徒手画图来记录或表达技术思想。当采用绘图软件绘制图形时，常事先徒手画出图形，再直接输入计算机。因此徒手画图是工程技术

人员必备的一项重要的基本技能。在学习过程中，应通过实践，逐步提高徒手绘图的能力。

开始练习画徒手图时，可先在方格纸上进行，这样较容易控制图形的大小和比例，尽量让图形中的直线与分格线重合，以保证所画的图线平直。

徒手绘图的方法如图 4.25 所示。执笔时力求自然，笔杆与纸面成 45°～60°，一般选用 HB 或 B 的铅笔，铅芯磨成圆锥形。

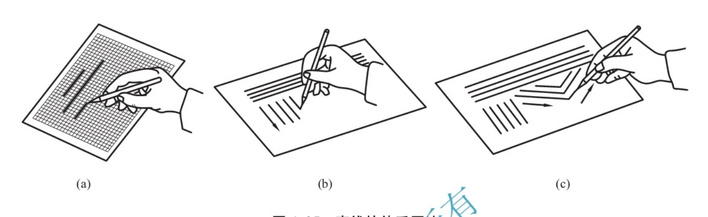


图 4.25　直线的徒手画法

1. 直线的画法

徒手画直线时，握笔的手要放松，用手腕抵着纸面，沿着画线的方向移动；眼睛不要死盯着笔尖，而要瞄准线段的终点。

画水平线时，图纸可放斜一点，不要将图纸固定死，以便随时可将图纸调整到画线最为顺手的位置，如图 4.25(a)所示。画垂直线时，自上而下运笔，如图 4.25(b)所示。画斜线时的运笔方向如图 4.25(c)所示。每条图线最好一笔画成；对于较长的直线，也可用数段连续的短直线相接而成。

2. 圆的画法

画圆时，先定出圆心位置，过圆心画出两条互相垂直的中心线，再在中心线上按半径大小目测定出四点，然后徒手将各点连接成圆，如图 4.26(a)所示。对于直径较大的圆，可过圆心加画一对十字线，按半径目测定出八点，分段逐步连接成圆，如图 4.26(b)所示。

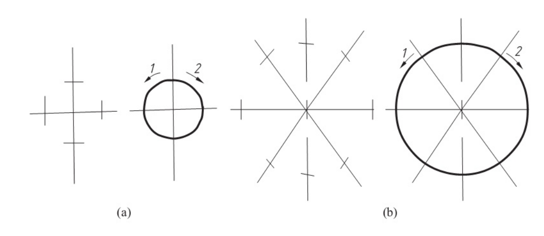


图 4.26　圆的徒手画法

复习思考题

1. 试述图幅的规定及它们之间的关系。

2. 试述比例的概念及选用原则。

3. 常用线型有几种？这些图线的主要用途是什么？在图样上绘画这些图线时，通常应注意哪几点？

4. 说明尺寸标注的基本规则、尺寸的组成及标注方法。

5. 简述圆弧连接时外切与内切的作图要点。

6. 试述平面图形的绘制方法和步骤。

7. 简述徒手绘图的要点。



第5章 组合体的视图与尺寸注法

组合体一般都可以假想是由简单立体(称为基本体)经过叠加、切挖等方式而形成的形状较复杂的立体。本章将在学习制图的基本知识和空间几何元素(点、直线、平面、基本形体)投影的基础上，进一步学习组合体三视图的投影特性、画法和读组合体视图的基本方法，以及组合体的尺寸标注等问题，为绘制和阅读机械图样打下重要基础。

5.1 组合体的组合形式和组合体三视图

工程上常见的形体，以其几何形状分析，都可看成是由若干个基本形体(棱柱、棱锥、圆柱、圆锥、圆球和圆环)按一定方式构成的。

5.1.1 组合体的组合形式

组合体有三种组合形式，即叠加式、切挖式、综合式。最基本的组合方式为叠加和切挖，但应用较多的是这两种方式的综合运用——综合式。

(1) 叠加式：将若干个基本形体如同搭积木一样叠加而形成的组合体，如图5.1(a)所示。

(2) 切挖式：从一个基本形体中切挖去若干个基本形体而形成的组合体，如图5.1(b)所示。

(3) 综合式：由若干个基本形体经叠加和切挖形成的组合体，如图5.1(c)所示。

5.1.2 组合体三视图的形成及其规律

1. 三视图的形成

如图5.2(a)所示，将物体摆正于三面投影体系内，分别从前向后、从左向右、从上向下对物体进行正投影即可得到物体的三视图。GB/T 4458.1—2002《机械制图 图样画法 视图》规定，机械图样应采用正投影法绘制，并优先采用第一角画法。根据GB/T 14692—2008《技术制图 投影法》的规定，用正投影法所绘制的物体的图形称为视图。由

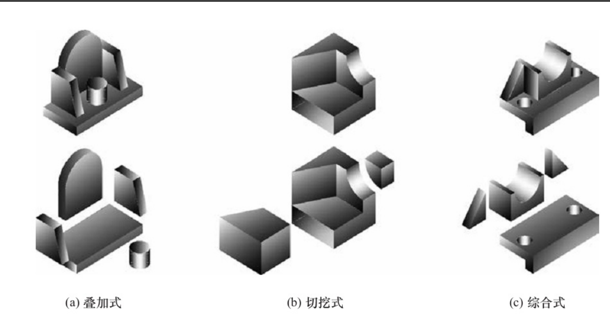
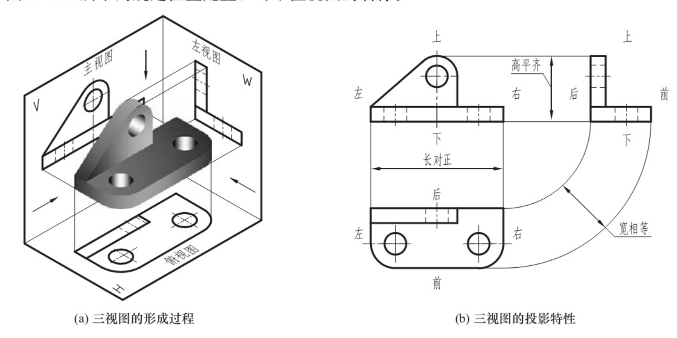

(a) 叠加式　　(b) 切挖式　　(c) 综合式

图 5.1　组合体的组合形式

前向后投射所得的视图称为主视图，即物体的正面投影，通常反映所画物体的主要形状特征，也就是表示物体信息量最多的视图；由上向下投射所得的视图称为俯视图，即物体的水平投影；由左向右投射所得的视图称为左视图，即物体的侧面投影。

2. 三视图的投影规律

如图 5.2(b)所示，由投影面展开后的三视图可以看出：主视图和俯视图同时反映物体的长，主视图和左视图同时反映物体的高，俯视图和左视图同时反映物体的宽。三视图的投影规律是：主、俯视图长对正；主、左视图高平齐；俯、左视图宽相等。这个规律不仅适用于物体整体的投影，也适用于物体局部结构的投影。特别要注意的是，俯、左视图除了反映宽相等以外，还有前、后位置应符合对应关系：俯视图的下边和左视图的右边，表示物体的前方；俯视图的上边和左视图的左边，表示物体的后方。物体的三视图按图 5.2(b)所示的规定位置配置，可不注视图的名称。



(a) 三视图的形成过程　　(b) 三视图的投影特性

图 5.2　三视图的形成及其特性

5.2　组合体三视图的画法

5.2.1　组合体上相邻表面之间的连接关系

为了正确绘制组合体的三视图，必须分析组合体上叠加后或切挖掉的各基本体之间的相对位置和相邻表面之间的连接关系。无论哪种形式构成的组合体，在组合体中互相结合的两个基本体表面之间的关系有平齐、相交、相切三种连接关系。

1. 平齐

组合体上相邻立体表面平齐(即共面)时，它们之间不存在分界线，所以两面连接处不应画线。图 5.3 所示是该类组合体的正确和错误画法对比，请读者对照分析。

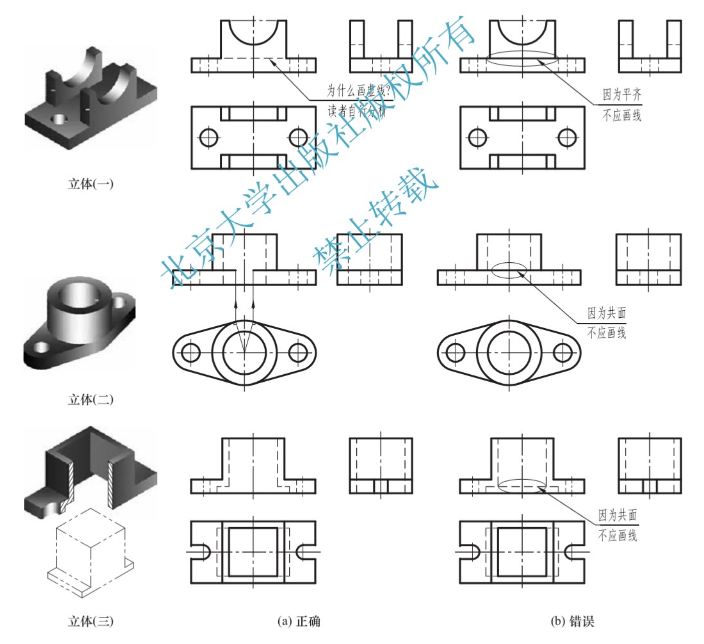


图 5.3　组合体上相邻表面平齐(共面)画法示例

2. 相切

组合体上相邻立体表面相切时，它们之间不存在分界线，所以两面连接处不应画线。如图 5.4 所示，底板的前、后侧面与圆柱体表面相切，相切处不存在轮廓线，在视图上一般不画分界线。如图 5.4(a)所示，通过俯视图在主、左视图上确定切线的位置，不应画出切线，但底板顶面在主、左视图中应画到切线的位置处。图 5.4(b)是错误的画法。

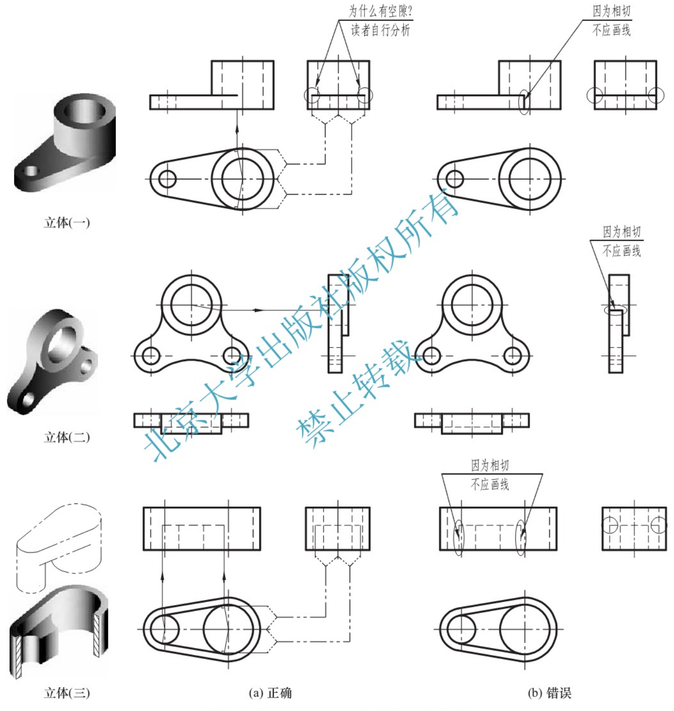


图 5.4　组合体上相邻表面相切画法示例

3. 相交

组合体上立体相交时，其邻接表面之间一定产生交线，如图 5.5 所示相交情况。求交线的基本方法和简化画法在第三章两立体相交中讨论过。如图 5.5 列出了常见两形体邻接表面相交的情况及其三视图表示方法，由图例可以看出，无论两实体邻接表面相交，还是

实体与空形体相交或空形体与空形体的邻接表面相交，其相交的本质都是一样的。只要形体的大小和位置相同，其交线就完全相同。所以三种情况的交线均可按实形体的邻接表面求得。

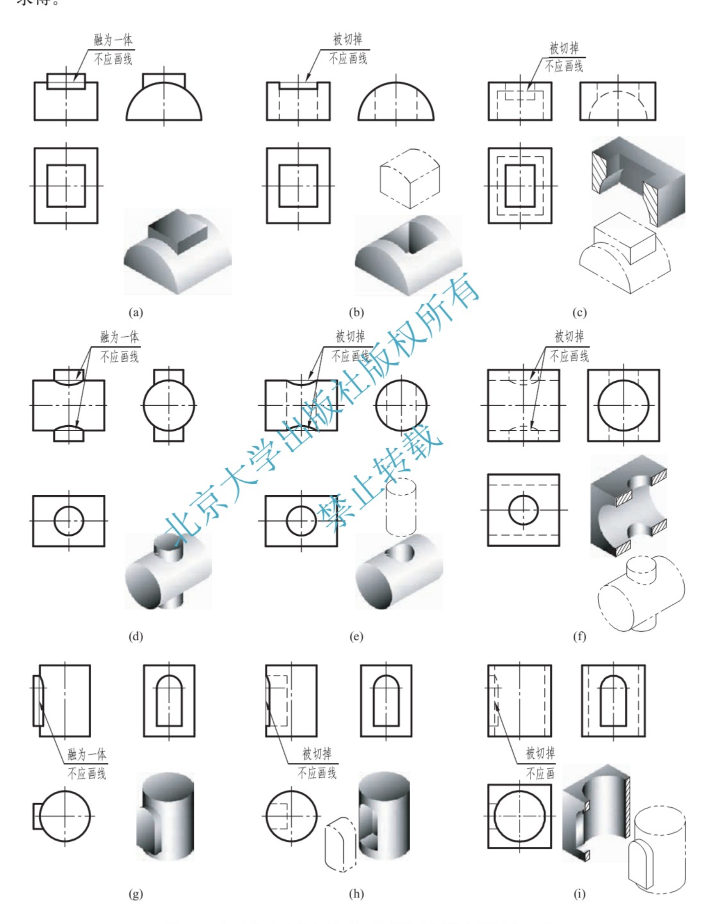


图 5.5　组合体上立体相交时，其邻接表面的交线画法示例

机器中有许多零件是铸件或锻件，它们的表面相交处通常用小圆角光滑过渡。由于圆角的影响，使机件表面的交线变得不明显，这种交线称为过渡线，过渡线用细实线绘制。

如图 5.6 所示，除了在圆角过渡处的曲面投影的转向轮廓线相交处应画成圆角外，过渡线的画法与画相贯线或截交线一样，只是在过渡线的端部应留有空隙。图 5.6(a)、(b)所示的是实心的铸件，前者是轴线垂直相交的两个直径不等的圆柱体，后者是轴线垂直相交的两个直径相等的圆柱体，外表面未经切削加工，外表面的交线应画过渡线，过渡线的画法如图中所示；图 5.6(c)所示的三通管是铸件，从剖切开的图形可以看出相交处都是圆角过渡，所以图中也都画成过渡线。

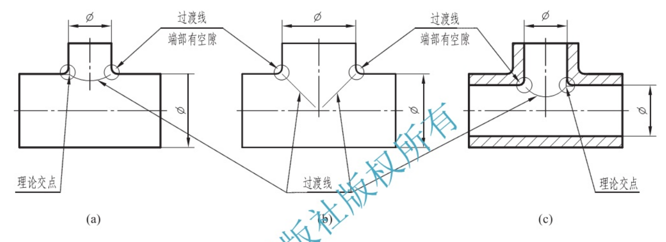


图 5.6　过渡线的画法示例(一)

图 5.7 为零件上常见的板与圆柱相交或相切处的过渡线画法示例。俯视图中用细线画出的图形是板的断面真形，分别是长方形和长圆形；过渡线在主视图中的投影形状主要决定于板的断面形状以及板与圆柱的组合形式。值得注意的是：应该画出在长方形板的前、后表面与圆柱面相交处的过渡线的正面投影；不能画出长方形板的前、后表面与圆柱面的切线正面投影，也就是说，在相切处没有过渡线；在长圆形板前、后端圆柱面和圆柱的公共切平面上的切线的交点处，过渡线的正面投影端部应留有空隙。

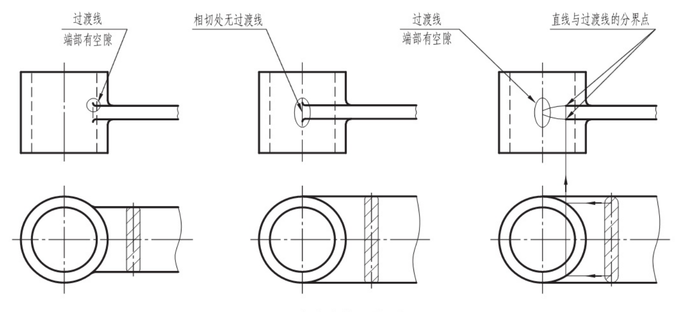


图 5.7　过渡线的画法示例(二)

5.2.2　画组合体视图的方法与步骤

在画组合体视图的过程中，假想将一个复杂的组合体分解为若干基本体，并对它们的形状和相对位置进行分析，并画出组合体的视图，这种方法称为形体分析法。形体分析法是指导画图和读图的基本方法，现以图 5.8 所示轴承座为例，阐述画组合体视图的方法和步骤。

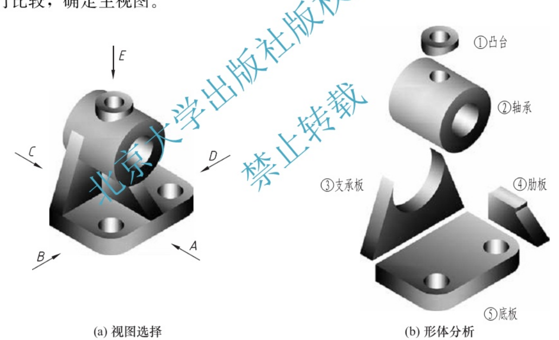
1. 叠加式组合体的画法

1）形体分析

如图 5.8 所示，轴承座由凸台①、轴承②、支承板③、肋板④以及底板⑤所组成。凸台和轴承是两个垂直相交的空心圆柱体，在外表面和内表面上都有相贯线；支承板、肋板和底板分别是不同形状的平板，支承板的左、右侧面与轴承的外圆柱面相切，肋板的左、右侧面与轴承的外圆柱面相交，底板的顶面与支承板、肋板的底面互相叠合。

2）视图选择

在三个视图中，主视图是最主要的视图，它应尽量反映机件的形状特征。如图 5.8(a) 所示，将轴承座按自然位置安放后，对由箭头所示的 *A*、*B*、*C*、*D* 四个方向投射所得的视图进行比较，确定主视图。



(a) 视图选择　　(b) 形体分析

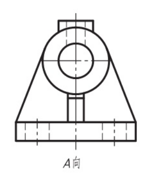
图 5.8　轴承座的形体分析与视图选择

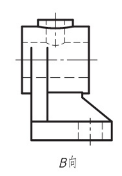
如图 5.9 所示，若以 *C* 向作为主视图，虚线较多，显然没有 *A* 向清楚；*D* 向与 *B* 向视图虽然虚实线的情况相同，但如以 *B* 向作为主视图，则左视图上会出现较多虚线，没有 *D* 向好；再比较 *B* 向与 *A* 向视图，*A* 向更能反映轴承座各部分的轮廓特征，所以确定以 *A* 向作为主视图的投射方向。

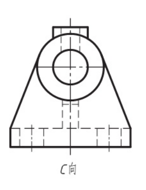
主视图确定以后，俯视图和左视图的投射方向也就确定了，左视图即图 5.9 中的 *B* 向。

3）画组合体三视图

画组合体的视图时，首先要选择适当的比例，按图纸幅面布置视图的位置，确定各视图的轴线、对称中心线或其他定位线的位置；然后按形体分析法分解各基本体以及确定它







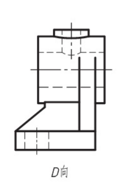


图 5.9　分析主视图的投射方向

们之间的相对位置，逐个画出各基本体的视图。必须注意：在逐个画基本体时，可同时画出三个视图，这样既能保证各基本体之间的相对位置和投影关系，又能提高绘图速度；在形状较复杂的局部，如具有相贯线和截交线的地方，宜适当配合线和面的投影分析(这种分析组合体上的棱线和面的投影特性的方法称为线面分析法)，可以帮助想象和表达，还能减少投影图中的疏误。底稿完成后，要仔细检查，修正错误，擦去多余作图线，再按规定线型描深，描深后再检查，确认无误后才算完成。具体作图步骤如图 5.10 所示。

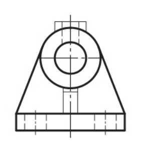
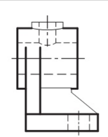
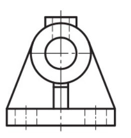
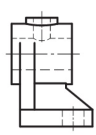
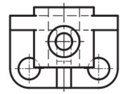
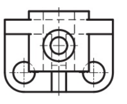
(a) 画轴承的轴线及后端面的定位线

(b) 画轴承的三视图

(c) 画底板的三视图

(d) 画支承板的三视图

图 5.10　轴承座的画图过程


(e) 画凸台和肋板的三视　　　　(f) 校核、描深图线、再校核

图 5.10　轴承座的画图过程(续)

2. 切挖式组合体的画法

【例 5-1】 如图 5.11 所示的压块的立体图，画出三视图。

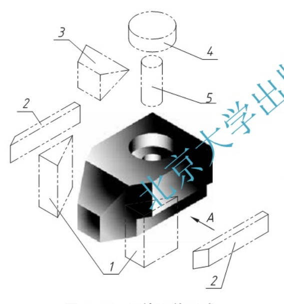


图 5.11　压块立体形成

压块可看作是长方体逐步切割掉一些基本体而形成。由于压块的形状比较复杂，必须在形体分析的基础上，结合线面分析法，才能正确画出三视图。

1) 形体分析和线面分析

压块是在一个长方体的基础上通过切挖而形成的。首先用两个铅锤面在长方体左侧前后各切去一个三棱柱体“1”；再用水平面和正平面在长方体前后下部各切去一个四棱柱体“2”；再用正垂面在长方体左上部切去一个三棱柱体“3”；最后挖去“4”、“5”两个圆柱体。画图时必须注意分析，每当切割掉一块基本体以后，在压块表面上所产生的交线都要有其投影。

2) 选择主视图

按自然位置安放好压块后，选定图 5.11 中的箭头 A 所示方向为主视图的投射方向。

3) 画图步骤

(1) 如图 5.12(a)所示，画出压块切挖前的长方体三视图。

(2) 如图 5.12(b)所示，画左侧前后各切去的三棱柱形体“1”，应先画出切割后的俯视图(优先画具有积聚性的投影)，再按三视图投影关系画出主、左视图。

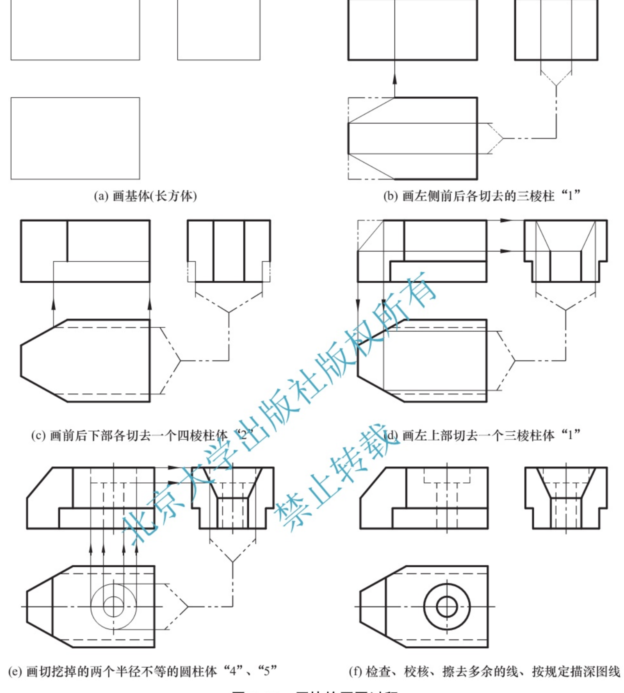
(3) 如图 5.12(c)所示，画下部前后各切去的四棱柱形体“2”，应先画出俯视图上有积聚性的正平面投影(两条虚线)，再按投影关系画出主、左视图。

(4) 如图 5.12(d)所示，画左上部切去的三棱柱形体“3”，应先画主视图上有积聚性的投影(一条倾斜直线)，再按三视图投影关系画俯、左视图。

(5) 如图 5.12(e)所示，画右侧上下方向切挖掉的两个半径不等的圆柱体“4”、“5”，

应先画俯视图上有积聚性的投影(两圆柱面投影积聚为两个圆)，再画主、左视图。

(6) 最后进行检查、校核、擦去多余的线、按规定描深图线，如图 5.12(f)所示。



(a) 画基体(长方体)　(b) 画左侧前后各切去的三棱柱“1”

(c) 画前后下部各切去一个四棱柱体“2”　(d) 画左上部切去一个三棱柱体“1”

(e) 画切挖掉的两个半径不等的圆柱体“4”、“5”　(f) 检查、校核、擦去多余的线、按规定描深图线

图 5.12　压块的画图过程

画图时注意以下两点：①先画具有积聚性投影的视图，再按三视图投影关系画其他视图；②虚线、点画线一般应一次画成，不要等到最后再描深。

5.3　组合体视图的识读

画图是将物体按正投影方法表达在平面的图纸上，读图则是根据已经画出的视图，通过形体和线面的投影分析，想象出物体的形状。为了正确、迅速地读懂视图，必须掌握读图的基本要领和基本方法。

5.3.1 读图的基本要领

1. 将各个视图联系起来识读

组合体的形状一般是通过几个视图来表达的，每个视图只能反映物体一个方向的形状，仅由一个或两个视图不一定能唯一地确定组合体的形状。如图 5.13 所示的六组视图，它们的主视图都相同，但实际上表示了六种不同形状的物体。

(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

图 5.13 只看一个视图不能确定组合体形状的示例

又如图 5.14 所示的三组视图，它们的主、俯视图都相同，但也表示了三种不同形状的物体。实际上，根据图 5.13 的主视图以及图 5.14 的主、俯视图还可以分别想象出更多种不同形状的物体。由此可见，读图时必须将所给出的全部视图联系起来分析识读，才能准确地想象出组合体的完整形状，同时要注意在联系起来分析识读时要以主视图为中心，因为主视图最能反映物体形状特征。

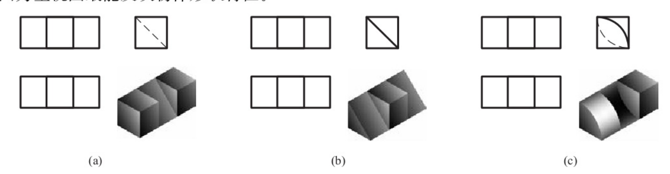


图 5.14 只看两个视图也不能确定组合体形状的示例

2. 理解视图中线框和图线的含义

(1) 视图中每个封闭线框通常表达物体上一个面（平面、曲面或空孔）的投影。如

图 5.15(a)所示，主视图中有五个封闭线框，对照俯视图可知，线框 a'、b'、c'分别是六棱柱前面的三个棱面 A、B、C 与其后面的对称棱面相重合的投影。线框 d' 则是圆柱体前半圆柱面与后半圆柱面相重合的投影。线框 e' 则是一个前后贯穿的圆柱通孔。

（2）视图中每条图线，可能是物体表面有积聚性的投影或者是两个表面的交线的投影，也可能是曲面转向轮廓线的投影。如图 5.15(b)所示的主视图中的 $1'$ 是圆柱顶面有积聚性的投影，主视图中的 $2'$ 是六棱柱两个棱面的交线的投影，主视图中的 $3'$是在圆柱面上由前向后贯穿的小圆柱通孔的投影。主视图中的 $4'$ 是圆柱面正面投影的转向轮廓线的投影。

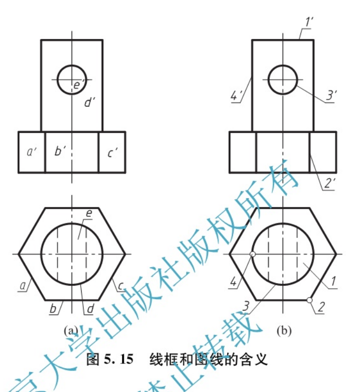


图 5.15　线框和图线的含义

3. 善于构思物体的形状

为了提高读图能力，应注意不断培养构思物体形状的能力，从而进一步丰富空间想象能力，达到能正确和迅速地读懂视图的目的。因此，一定要多读图，多构思物体的形状。下面举一个有趣的例题来说明构思物体形状的步骤和方法。

【例 5－2】　如图 5.16 所示，已知某一物体的三个视图的外轮廓，要求通过空间构思想出这个物体的形状及其三视图。



图 5.16　已知物体三视图的外轮廓，构思该物体形状

如前所述，一个物体一般要根据三个视图才能确定形状。因此，在构思过程中，可以逐步按三个视图的外轮廓来构思这个物体，最后想象出这个物体的形状。构思的过程如图 5.17 所示。

（1）如图 5.17(a)所示，将正方形作为主视图的物体，可以想象出很多，如立方体、长方体、楔体、圆柱体、半圆柱体、四分之一圆柱体等。但主视图轮廓为正方形、俯视图

为圆的物体，必定是一个圆柱体。

(2) 如图 5.17(b)所示，除了主、俯视图的轮廓分别为正方形和圆以外，左视图为三角形的物体，通过思考可以想象出：用两个侧垂面切去圆柱体的前后两块，那么，切割后的物体的左视图就是一个三角形，而主、俯视图的外轮廓仍分别保持原来的正方形和圆。但是，主视图上应添加前、后被截切后的截交线(半椭圆)的重合的投影，俯视图上应添加被截切后两个面的交线的投影。最后，想象出的物体的形状和三视图如图 5.17(b)的立体图所示。

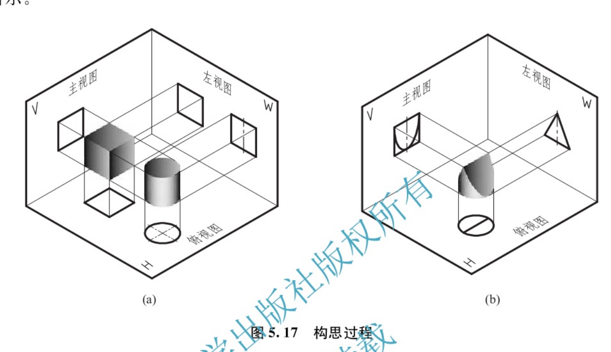


图 5.17 构思过程

通过上述读图的基本要领的讨论可知：读图时，不仅要几个视图联系起来看，还要对视图中的每个线框和每条图线的含义进行分析，才能逐步想象出物体的完整形状。同时，通过例 5-2 也可知道，对物体构思能力的训练也是培养读图能力的一个途径。

5.3.2 读图的基本方法

1. 形体分析法

读图的基本方法与画图一样，主要也是运用形体分析法。在反映形状特征比较明显的主视图上先按线框的特点将组合体划分为几个部分，即几个基本体，然后通过投影关系找到各线框所在其他视图中所对应的投影，从而分析各部分的形状以及它们之间的相对位置。最后综合起来想象组合体的整体形状。现以图 5.18 所示的组合体三视图说明运用形体分析法识读组合体视图的方法与步骤。

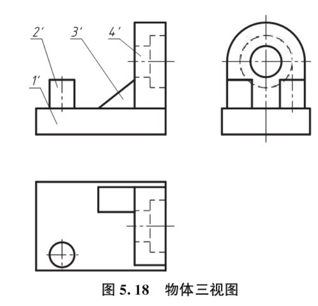


图 5.18 物体三视图

(1) 分解主视图。在表达该组合体形状特征较明显的视图中画线框，分基本体。

现从主视图入手，将组合体划分为四个封闭线框，可以认为该组合体是由四部分基本体组成，如图 5.18 所示。

(2) 找出对应区。根据主俯视图长对正、主左视图高平齐、俯左视图宽相等的特性，将主视图分解的各线框逐一在其他图上找到所对应的区域(投影)，为判断基本体的形状做好准备。

(3) 判明体形位。根据找到的投影区域逐一判明该基本体的形状和在整个组合体中所处的位置。由主视图中的线框 1′且与俯、左视图投影分别对应矩形线框，不难想象出它是一块平行于水平面的长方形底板，并处在整个组合体的最下面，如图 5.19(a)所示。

由主视图中的线框 4′ 是一个矩形且与俯、左视图所对应的投影可以想象，它是一个倒 U 字平板，在左视图中反映实形，而图中的虚线对应左视图中的两个圆(实线圆、虚线圆)，结合俯视图即可想出是一个阶梯圆柱通孔，它处在底板 1′ 的上面并和底板 1′ 右面平齐，如图 5.19(b)所示。

由主视图中的线框 2′、3′ 且与俯、左视图所对应的投影可以想象，它们分别是小圆柱体和三棱柱体，如图 5.19(c)所示。

(4) 叠加想整体。将各部分按图中所示的相对位置叠加起来，得出组合体的整体形状，如图 5.19(d)所示的立体图。

(a)　(b)

(c)　(d)

图 5.19　用形体分析法读图的方法和步骤

【例 5-3】 如图 5.20 所示，已知支承的主、左视图，补画俯视图。

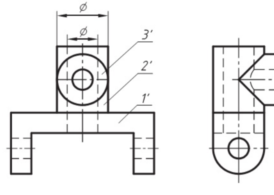


图 5.20 支承的主、左视图

分析：如图 5.20 所示，将主视图划分为三个封闭线框，看作组成支承的三个部分的投影：1′是倒凹字形线框；2′是矩形线框；3′是圆形线框(线框内还有小圆线框)。对照左视图，边想象形状边补图。然后，分析它们之间的相对位置和表面连接关系，综合得出这个支承的整体形状。最后，从整体出发，校核和描深已补出的俯视图。

作图过程如图 5.21 所示。

(1) 在主视图上分离出底板的线框 1′，由主、左视图所对应的投影可看出它是一块倒凹字形底板，左右两侧有带圆孔的下端为半圆形的耳板。画出底板的俯视图，如图 5.21(a)所示。

(a) 想象和画出底板“1”

(b) 想象和画出圆筒“2”

(c) 想象和画出圆筒“3”

(d) 想象出支承的整体形状，检查、描深

图 5.21 想象支承的形状和补画俯视图

(2) 在主视图上分离出矩形线框 2′，由于在图 5.20 中注有直径⌀，对照左视图可知，它是轴线垂直于水平面的圆柱体，中间有穿通底板的圆柱孔，圆柱与底板的前后端面相切。画出具有穿通底板的圆柱孔的铅垂圆柱体的俯视图，如图 5.21(b)所示。

(3) 在主视图上分离出圆形线框 3′(中间还有一个小圆线框)，对照左视图可知，它是一个中间有圆柱通孔、轴线垂直于正面的圆柱体，其直径与垂直于水平面的圆柱体直径相等，而孔的直径比铅垂于水平面的圆柱体的圆柱孔小，它们的轴线垂直相交，且都平行于侧面。画出具有通孔的正垂圆柱的俯视图，如图 5.21(c)所示。

(4) 根据底板和两个圆柱体的形状以及它们之间的相对位置，可以想象出支承的整体形状。最后，按想出的整体形状和各部分所处的位置校核后补画出俯视图，并按规定的线型加深，如图 5.21(d)所示。

2. 线面分析法

读切挖式组合体或综合式组合体的视图时，在运用形体分析法的同时，对于具有切挖结构，不易读懂的部分，还常用线面分析法来帮助想象和读懂这些局部形状。

构成物体的各个表面，不论其形状如何，它们的投影如果不具有积聚性，一般都是一个封闭线框。在读图过程中，常用线和面的投影特性来帮助分析物体各部分的形状和相对位置，从而想象出物体的整体形状。下面以图 5.22 所示的切挖式组合体为例，说明线面分析法的读图步骤。

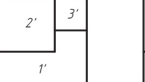
首先根据外围轮廓想基本体(切挖前的形体)，明确该切挖式组合体是在什么样的基本体下切挖而成的，从图 5.22 所示的切挖式组合体的外围轮廓可判断该基本体是一个正方体，然后按以下步骤进行读图。

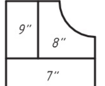
(1) 分解各视图。根据每个视图中实线线框的多少分成几部分，每个线框代表一个面(平面、曲面或空孔)。

首先从主视图入手，将组合体划分为三个封闭线框，可以认为从正前方向后观察组合体可看到三个面 1′、2′、3′，如图 5.22 所示的主视图。

从俯视图看也划分三个线框，可以认为从正上方向下观察组合体可看到三个面 4、5、6，如图 5.22 所示的俯视图。

从左视图看也划分三个线框，可以认为从正左方向右观察组合体可看到三个面 7″、8″、9″，如图 5.22 所示的左视图。





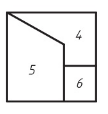


图 5.22　物体三视图

(2) 找到对应处。在分解各视图的基础上，根据面的投影特性和三视图的投影规律，利用对投影的方法在另外两个视图上找到与之对应的投影，为判断面的形状和所处的位置做好准备。

(3) 判明面形位。根据上一步找到的投影区域判断出每个面的形状和位置。

首先从主视图上的 1′、2′、3′三个线框入手。

线框“1′”在俯、左视图上所对应的投影分别是一条线，根据面的投影特性可以判断线框 1′所表示的面是一个正平面(主视图上反映实形)，并且在整个组合体的前下方，如

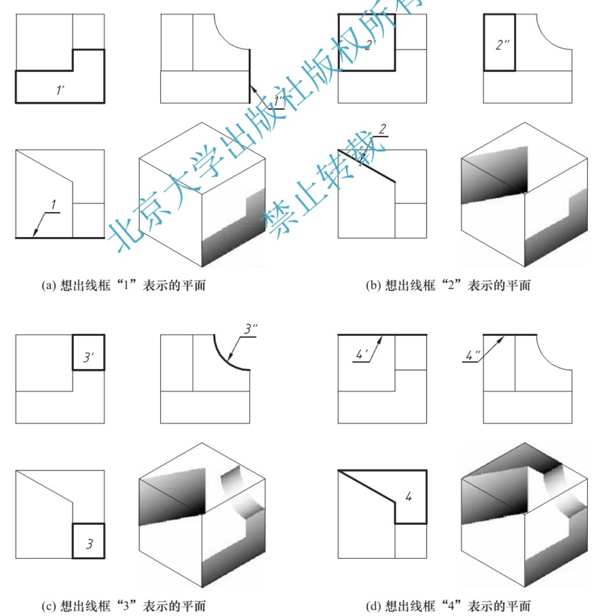
图 5.23(a)所示。

线框“2′”在俯视图上所对应的投影是一条斜线，在左视图上所对应的投影是一个与线框 1′相类似的“矩形”线框，根据面的投影特性可以判断线框 2′所表示的面是一个铅垂面(主、左视图上都不反映实形)，并且在整个组合体的左、后方，如图 5.23(b)所示。

线框 3′在俯视图上所对应的投影是一个与线框 3′相类似的“矩形”线框，在左视图上所对应的投影是一条 1/4 圆弧线，根据面的投影特性可以判断线框 3′所表示的面是一个侧垂面(与侧面垂直的 1/4 圆柱面)，并且在整个组合体的右上前角，如图 5.23(c)所示。

按上述方法可以分别判断出线框 4、5、6、7″、8″所表示的面的形状和位置。线框 4、5 所表示的形状和位置分别如图 5.23(d)、(e)所示。为什么线框 9″不分析了，请读者思考。

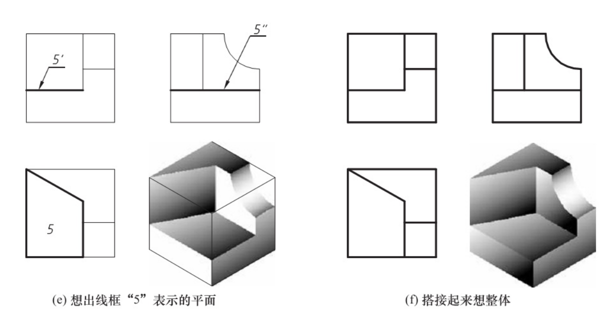
(4) 搭接想整体。根据以上三步可以分析、判断出每个面的形状和所处的位置，按照它们各自的位置搭接起来就可以想象出整体了，如图 5.23(f)所示。



(a) 想出线框“1”表示的平面　　(b) 想出线框“2”表示的平面

(c) 想出线框“3”表示的平面　　(d) 想出线框“4”表示的平面

图 5.23　用线面分析法读图的方法步骤



(e) 想出线框“5”表示的平面　　　　(f) 搭接起来想整体

图 5.23　用线面分析法读图的方法步骤(续)

通过以上线面分析法读图过程来看，这种读图方法显然不如用形体分析法读图快。对于切挖式组合体视图也可以用形体分析法来读图，只不过是用形体分析法来分析被切掉的形体，进而想象出切掉后剩余形体的形状。如图 5.24 所示，对于该组合体实际上就是在一个正方体的基础上切掉一个梯形体和一个 1/4 圆柱体而形成的切挖式组合体，这样分析读图也很快。读者可自行分析。

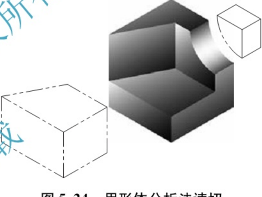


图 5.24　用形体分析法读切挖式组合体视图

【例 5－4】　如图 5.25(a)所示，补画组合体三视图中所缺的图线。

从已知三视图的三个外形轮廓分析，该组合体是一个正方体被几个不同位置的平面切割而成。结合形体分析和线面分析，采用边想象切割、边补线的方法逐个画出三个视图中的漏线。在补图过程中，应充分运用“长对正、高平齐、宽相等和前后对应”的投影关系，并徒手画出立体草图，逐个记录构思想象的过程。

想象和作图过程如下。

(1) 由图 5.25(a)中左视图上的一条斜线可想象出，正方体被侧垂面切去前上角，如图 5.25(b)所示。因此，在主、俯视图上补画因切角而产生的截交线，同时画出正方体被切去前上角的立体草图。

(2) 由图 5.25(a)中主视图上后方左、右两侧分别有左右对称的缺角可看出，正方体后上方的左、右两侧分别被水平面和侧平面对称地各切去一块，如图 5.25(c)所示。因此，补画俯、左视图中的漏线，同时继续在已画的立体草图上也画出切去这两块。

(3) 从图 5.25(a)中俯视图上的凹口可知，正方体的前下部中间挖了一个铅垂的矩形槽，如图 5.25(d)所示。因此，补画主、左视图上因开槽而产生的截交线。同样，继续在立体草图中画出矩形槽。最后，按徒手画出的立体草图对照、校核、补全图线的三视图，作图结果如图 5.23(d)所示(还应擦去俯视图中的双点画线)。

(a)　(b)

(c)　(d)

图 5.25　补画组合体三视图中所缺图线

【例 5-5】　如图 5.26 所示，在三视图上，标出 A、C、D、E、F 各面的投影，其标注方法如 B 平面。请读者自行分析。

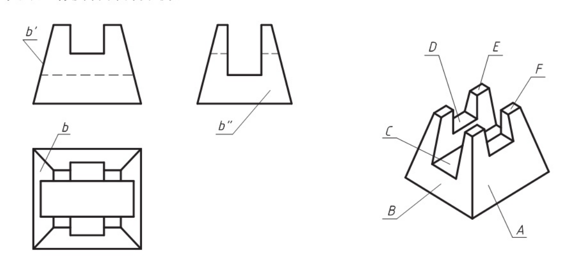
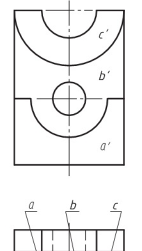


图 5.26　找出 A、C、D、E、F 面的投影

【例 5-6】　如图 5.27 所示，已知架体的主、俯视图，补画左视图。

如前所述，视图中的每个封闭线框表示物体上一个面(或孔)的投影，而视图中两个相邻的封闭线框表示物体上相交(或错位)的两个面的投影。在一个视图中，要确定面与面之间的相对位置是不可能的，必须结合其他视图来分析确定。如图 5.27 所示，主视图中的三个封闭框 a'、b'、c' 所表示的面，在俯视图中分别对应 a、b、c 三条直线。按投影关系对照主视图和俯视图可见，这个架体分前、中、后三层：前层切割成一个直径较小的半圆柱槽，中层切割成一个直径较大的半圆柱槽，后层切割成一个直径最小的穿通的半圆柱槽；另外，中层和后层有一个圆柱形通孔。由这三个半圆柱槽的主视图和俯视图可以看出：具有最低的较小直径的半圆柱槽的这一层位于前层，而具有最高的最小直径的半圆柱槽的那一层位于后层。因此，就想象出架体的整体形状，并如图 5.28 所示，逐步补画出左视图。



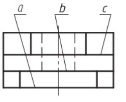


图 5.27　补画架体的左视图

(a) 画外轮廓线　(b) 画前层半圆柱槽和中层半圆柱槽　(c) 画后层半圆柱槽

(d) 画中层、后层的圆柱通孔　(e) 检查、描深　(f) 架体立体图

图 5.28　补画架体左视图的作图过程

5.4　组合体的尺寸标注

视图只能表达组合体的形状，而组合体各部分的大小及其相对位置和组合体的总体长、宽、高，还要通过标注定形尺寸、定位尺寸和总体尺寸来确定。

(1) 定形尺寸。确定组合体各组成部分形状大小的尺寸称为定形尺寸。

(2) 定位尺寸。确定组合体各组成部分相对位置的尺寸称为定位尺寸。

(3) 总体尺寸。确定组合体的总长、总宽、总高的尺寸称为总体尺寸。

标注组合体尺寸的基本要求是：正确、完整和清晰。形体分析法是保证组合体尺寸标注完整的基本方法，即假想将组合体分解为若干基本体，注出各基本体的定形尺寸以及确定这些基本体之间相对位置的定位尺寸，最后根据组合体的结构特点注出总体尺寸。因此，在分析组合体的尺寸标注时，必须熟悉基本体的尺寸标注。值得注意的是：在标注各基本体的定形尺寸或各基本体之间的定位尺寸时，还需同时注意基本体本身的各细节部分之间是否也有定位尺寸需要标注，如有遗漏，需及时补上。

5.4.1　基本体的尺寸标注

图 5.29、图 5.30 和图 5.31 分别列出了基本体、被切割或穿孔后的不完整基本体、零件上常见的几种底板的尺寸标注示例。

图 5.29 中正六棱柱的底面尺寸有两种标注形式，一种是注出正六边形的对角尺寸(外接圆直径)，另一种是注出正六边形的对边尺寸(内切圆直径)，但只需注出两者之一，若两个尺寸都注上，则应将其中一个尺寸作为参考尺寸，加上括号；对于圆柱、圆台、环等回转体，其直径尺寸一般注在非圆的视图上，当完整标注了它们的尺寸后，只用一个视图就能确定其形状和大小，其他视图可省略不画。在标注图 5.30 中具有斜截面或缺口的基本体的尺寸时，应注出截平面或缺口的定位尺寸，不要标注截交线的尺寸，图中画上"×"号的尺寸都是不应该标注的。在图 5.31 所示的四个机件的底板，为什么都不应或不宜标注它们的总长，即图中画上"×"号的尺寸，请读者自行分析。

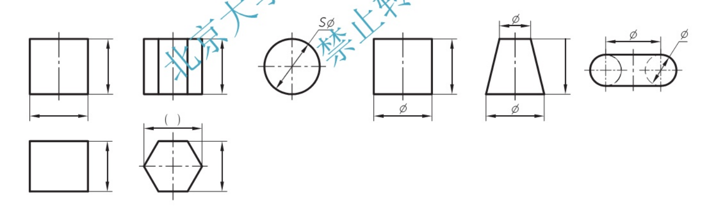


图 5.29　基本体的尺寸标注示例

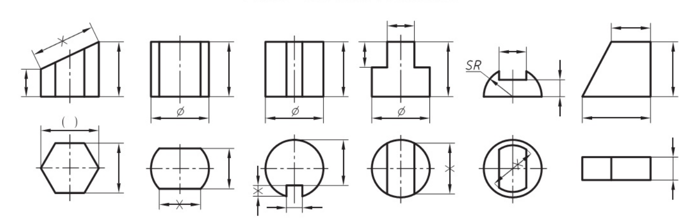


图 5.30　具有斜截面或缺口的基本体的尺寸标注示例

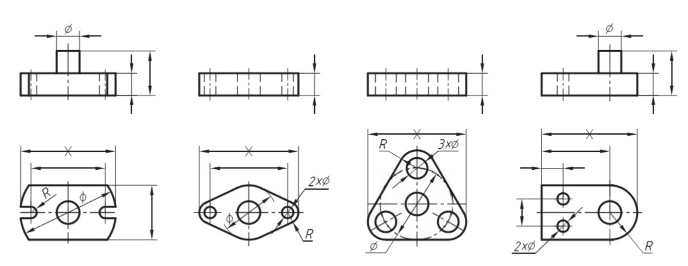


图 5.31　不标注底板总长的尺寸标注示例

5.4.2　组合体的尺寸分析

图 5.32 所示为已经标注了尺寸的组合体的两视图，由形体分析可知：这个左右对称的组合体由底板和竖板两部分组成，通过这个例图来分析标注组合体的尺寸如何才能达到完整和清晰的要求。

1. 尺寸基准

尺寸基准是尺寸的起点，也是组合体中各基本体定位的基准。因此，为了完整和清晰地标注组合体的尺寸，必须在长、宽、高三个方向上分别选定尺寸基准，通常选择组合体的对称平面、端面、底面，以及主要回转体的轴线等作为尺寸基准。图 5.32 中分别选定了左右对称平面、底板后壁和底板底面，作为长、宽、高三个方向的尺寸基准。

2. 尺寸完整

图 5.32 所示组合体由底板和竖板两部分组成，带圆角的底板上有两个小圆孔，半圆头竖板中间有圆孔。从尺寸完整出发，分别分析图中标注的定形尺寸、定位尺寸和总体尺寸。

(1) 定形尺寸。底板已注出长、宽、高的尺寸 46、25、6，底板上圆角和圆孔尺寸 $R8$ 和 $2\times\varnothing9$。必须注意，相同的圆孔应标注直径，只需标注一处，并同时注写数量，如 $2\times\varnothing9$；而相同的圆角半径，如 $R8$ 也只需标注一处，但不注写数量。通过这样的分析可知，底板的定形尺寸已注全。竖板已注宽度尺寸 5、半圆头半径尺寸 $R12$、圆孔尺寸 $\varnothing12$(该尺寸同时表达孔高和孔长)，竖板长度尺寸已由半圆头的半径尺寸 $R12$ 表明，不应重复标注，高度尺寸可由已注出的尺寸 18、6 和 $R12$ 计算得出，即 $18-6+12=24$，所以也不必标注，于是，竖板的定形尺寸也已标注完整。

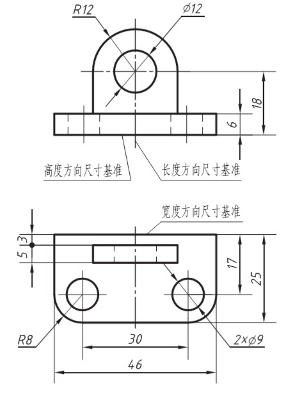


图 5.32　组合体的尺寸分析

（2）定位尺寸。确定组合体中各基本体之间的定位尺寸之前，还需检查基本体本身的各细节部分之间是否还需补充定位尺寸，如图 5.32 中底板上的两个小圆孔，分别从底板的左右对称面和后壁出发，标注出两圆孔轴线在长度、宽度方向上的定位尺寸 30、17。竖板与底板相对位置的定位尺寸：由于竖板与底板有共同的左右对称面，长度方向不必标注定位尺寸，竖板的底面与底板的顶面重合，高度方向也不必标注定位尺寸，宽度方向在图中注出了竖板的后壁在底板后壁之前 3。为了画图和看图方便，也可以将高度尺寸 18 看作竖板对底板的定位尺寸，还可看作在竖板上的圆孔的定位尺寸。

（3）总体尺寸。经过形体分析标注了各基本体的定形和定位尺寸后，还要标注组合体的总体尺寸。该组合体的总长和总宽即底板的长、宽尺寸 46、25 不必重复标注。总高尺寸应该是 18 加竖板半圆头的半径 $R12$，等于 30，在这种情况下，为了要清晰标出半圆头和圆孔的尺寸，宜保留尺寸 18 和 $R12$，省略不标总高尺寸 30。

值得注意的是，有时为了画图方便、读图清晰、便于加工起见，虽然有些尺寸可以通过已注的尺寸计算获得，但仍都注出。实际上，这些可由已知尺寸计算获得的尺寸属于尺寸标注中不宜标注的重复尺寸，但习惯上为了读图方便，便于加工，还是重复标注。例如，底板的长度方向的定形尺寸 46 等于圆角的定位尺寸 30 加两个圆角的定形尺寸半径 8 之和，同样，底板的宽度方向的定形尺寸 25 等于圆角的定位尺寸 17 加一个圆角的定形尺寸半径 8 之和，它们都全部注出。

3. 尺寸清晰

要使尺寸标注清晰，应注意以下几点。

（1）突出特征。定形尺寸尽量标注在反映该部分形状特征的视图上，如底板上的圆角和圆孔的尺寸应标注在俯视图上，竖板的半圆头和圆孔的尺寸应标注在主视图上。

（2）相对集中。同一基本体的定形与定位尺寸尽量集中标注，便于读图时查找，如底板的长、宽尺寸和底板上圆孔的定形、定位尺寸，竖板的定形尺寸和竖板上圆孔的定位尺寸，分别集中标注在俯视图和主视图上。

（3）布局整齐。同方向的平行尺寸，应使小尺寸在内、大尺寸在外，避免尺寸线与尺寸界线相交。同方向的串联尺寸应排列在一条直线上，既整齐又便于画图，如图 5.32 中俯视图的尺寸 5 和 3。

（4）尺寸尽量标注在视图外部，配置在两视图之间，这样不仅能保持图形清晰，且便于读图。

5.4.3　标注组合体尺寸的方法与步骤

下面以图 5.33 所示的轴承座为例，说明标注组合体尺寸的方法与步骤。

（1）形体分析和初步考虑各基本体的定形尺寸。当在自己绘制的组合体视图中标注尺寸时，已对这个组合体作过形体分析，对各基本体的定形尺寸也已经有了初步考虑，如图 5.33(a)所示，图中带括号的数字尺寸是别的基本体已标注或由计算可得出的重复尺寸。实际上用尺一边量尺寸一边绘图的过程也很接近标注尺寸的顺序。

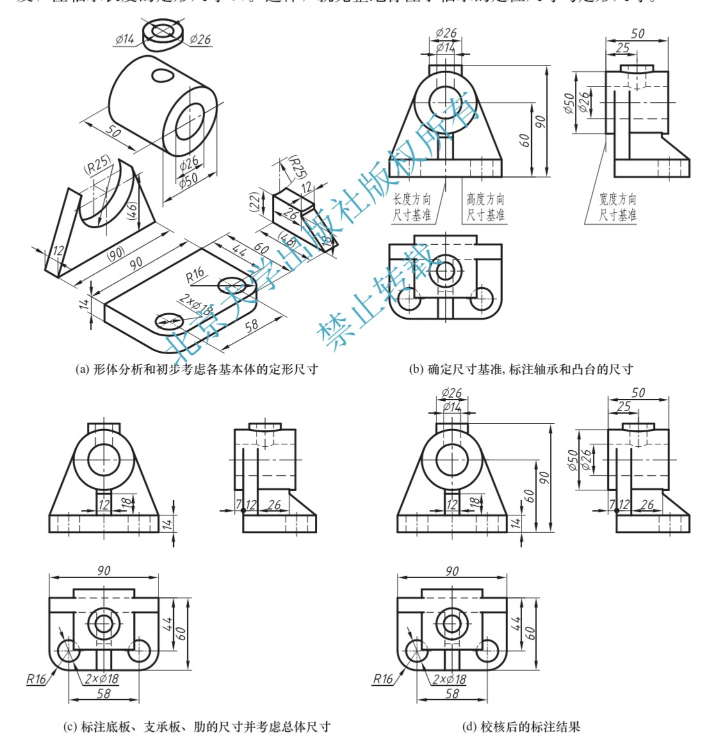
当阅读别人绘制的组合体视图中的尺寸时，则应先按形体分析看懂三视图，然后考虑各个基本体的定形尺寸和定位尺寸是否完整。

（2）选定尺寸基准。组合体的长、宽、高三个方向的尺寸基准，仍如前述，常采用组

合体的底面、端面、对称面以及主要回转体的轴线等。对于这个轴承座所选的尺寸基准如图 5.33(b)所示：用这个轴承座的左右对称面作为长度方向的尺寸基准；用轴承的后端面作为宽度方向的尺寸基准；用底板的底面作为高度方向的尺寸基准。

(3) 逐个地分别标注各基本体的定位和定形尺寸。通常先标注组合体中最主要的基本体的尺寸，如这个轴承座的轴承，然后在其他的基本体中标注与尺寸基准有直接联系的基本体的尺寸，或标注在已标注尺寸的基本体旁边且与它有尺寸联系的基本体。

① 轴承。如图 5.33(b)所示，由作为长度基准的轴承座左右对称面与高度基准(轴承座底面)为 60 的水平面的交线定出轴承座的轴线的位置，即标注定位尺寸 60。以这条轴线作为径向基准，注出轴承内外圆柱面的定形尺寸∅26 和∅50。从宽度基准(轴承后端面)出发，注轴承长度的定形尺寸 50。这样，就完整地标注了轴承的定位尺寸与定形尺寸。



(a) 形体分析和初步考虑各基本体的定形尺寸

(b) 确定尺寸基准，标注轴承和凸台的尺寸

(c) 标注底板、支承板、肋的尺寸并考虑总体尺寸

(d) 校核后的标注结果

图 5.33　标注轴承座的尺寸

② 凸台。如图 5.33(b)所示，由长度基准和从宽度基准出发的定位尺寸 25 定出凸台的轴线，以此为径向基准，注出定形尺寸ø14 和ø26。用从高度基准出发的定位尺寸 90 定出凸台顶面的位置；由于轴承和凸台都已定位，则凸台的高度也就确定了，不应再标注。于是便完整地标注了凸台的定位尺寸和定形尺寸。

③ 底板。如图 5.33(c)所示，从宽度基准出发标注定位尺寸 7 定出底板后壁的位置，并由此注出板宽的定形尺寸 60 和底板上圆柱孔、圆角的定位尺寸 44。从长度基准出发注出板长的定形尺寸 90 和底板上圆柱孔、圆角的定位尺寸 58。由上述定位尺寸 44 和 58 定出圆柱孔和圆角圆柱面的轴线，以此为径向尺寸基准，注出定形尺寸 2×ø18 和 R16。从高度基准出发，注出板厚定形尺寸 14。于是也就完整地标注了底板的定位尺寸和定形尺寸。

④ 支承板。在图 5.33(c)中还用已注出的从宽度基准出发的定位尺寸 7 定出了支承板后壁的位置，由此注出板厚定形尺寸 12，底板的厚度尺寸 14 也是支承板底面位置的定位尺寸。支承板底面的长度尺寸由已注出的底板的长度尺寸 90 充当，不应再标。左、右两侧与轴承相切的斜面可直接由作图确定，不应标注任何尺寸。由此便完整地标注了支承板的定位和定形尺寸。

⑤ 肋板。如图 5.33(c)所示，从长度基准出发标出肋板厚度的定形尺寸 12。肋板底面的定位尺寸已由底板厚度尺寸 14 充当，肋板后壁的定位尺寸已由支承板后壁的定位尺寸 7 和支承板厚度尺寸 12 充当，都不应再标；由肋板的底面和后壁出发，分别标注定形尺寸 18 和 26。肋板的底面的宽度尺寸可由底板的宽度尺寸 60 减去支承板的厚度尺寸 12 得出，不应标注；肋板两侧壁面与轴承的截交线由作图确定，不应标注高度尺寸。于是便完整标注了肋板的定位尺寸和定形尺寸。

(4) 标注总体尺寸。标注了组合体各基本体的定形和定位尺寸以后，对于整个轴承座还要考虑总体尺寸的标注。如图 5.33(b)、(c)所示，轴承座的总长和总高都是 90，在图上已经注出。总宽尺寸应为 67，但是这个尺寸以不注为宜，因为如果注出总宽尺寸 67，那么尺寸 7 或 60 就是不应标注的重复尺寸，而且注出上述两个尺寸 60 和 7 有利于明显表示底板的宽度以及支承板的定位。如果保留了 7 和 60 这两个尺寸，还想标注总宽尺寸，则可标注总宽 67 后再加一个括号，作为参考尺寸注出。

(5) 校核。最后，对已标注的尺寸按正确、完整、清晰的要求进行检查，如有不妥，应作适当修改或调整。经校核后无不妥之处，就完成了尺寸标注，如图 5.33(d)所示。

复习思考题

1. 试述三视图的投影规律。
2. 组合体有哪几种组合形式?
3. 组合体上相邻表面的连接关系有哪些?
4. 试述形体分析法和线面分析法的定义。
5. 绘制组合体三视图时应按哪几步进行?怎样能提高绘图速度?
6. 试述读图的基本要领、方法。读什么类型组合体需用形体分析法?读什么类型组合体需用线面分析法?读什么类型组合体需用形体分析法和线面分析法并用?
7. 标注组合体尺寸应达到哪三项基本要求?
8. 试述标注组合体尺寸的方法和步骤。

第6章

轴 测 图

第 5 章所讲述的组合体的视图是物体在相互垂直的两个或三个投影面上的多面正投影。多面正投影图是工程上应用的最为广泛的图样，但是，其中的一个视图通常不能同时反映出物体的长、宽、高三个方向的尺寸和形状，缺乏立体感，需要对照几个视图和运用正投影原理进行阅读，才能想象物体的形状。如图 6.1 所示，轴测图是将物体连同其直角坐标系沿不平行于任一坐标系平面的方向，用平行投影法将其投射在单一投影面上所得到的图形，也称轴测投影。因为轴测图能同时反映出物体长、宽、高三方向的尺寸，尽管物体的一些表面形状有所改变，但形象比多面正投影生动，富有立体感，所以轴测图常用作帮助读图的辅助性图样。

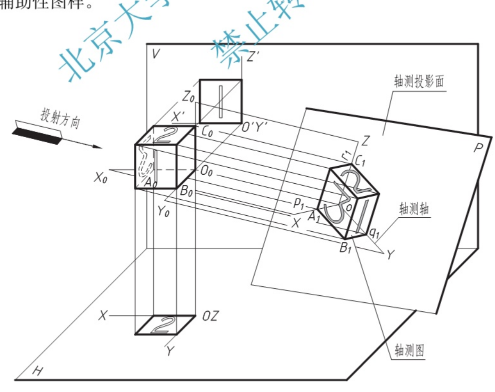


图 6.1　轴测图的概念

6.1 轴测图的基本知识

6.1.1 轴测图的形成

图 6.1 所示的长方体，它的正面投影和水平投影都缺乏立体感，若在适当地位置设置一个投影面 P，并选取合适的投影方向，在 P 面上作出长方体及其直角坐标系的平行投影，就得到了一个能同时反映长方体长、宽、高三个尺度的富有立体感的轴测图。P 平面称为轴测投影面。

6.1.2 轴向伸缩系数和轴间角

如图 6.1 所示，坐标轴 O_0X_0、O_0Y_0、O_0Z_0 的轴测图 OX、OY、OZ，称为轴测轴，分别简称为 X 轴、Y 轴、Z 轴。

轴测轴的单位长度与相应的直角坐标轴上的单位长度的比值，分别称为 X、Y、Z 轴的轴向伸缩系数，分别用 p_1、q_1、r_1、表示。从图 6.1 中可以看出：

$$p_1=\frac{OA_1}{O_0A_0}，q_1=\frac{OB_1}{O_0B_0}，r_1=\frac{OC_1}{O_0C_0}。$$

在本章中，除了直角坐标系的原点 O_0 和坐标轴 O_0X_0、O_0Y_0、O_0Z_0 的轴测图写作 O 和 OX、OY、OZ 外，点的轴测图符号都加注脚“1”。

为了便于作图，轴向伸缩系数之比应采用简单的数值，而且各个数值也宜简化，简化后的系数称为简化伸缩系数，简称简化系数，分别用 p、q、r 表示。

两根轴测轴之间的夹角 $\angle XOY$、$\angle XOZ$、$\angle YOZ$ 称为轴间角。

由立体几何可以证明，与投射方向不一致的两平行直线段的平行投影仍保持平行；且各线段的平行投影与原线段的长度比相等。由此可以得出：在轴测图中，空间几何形体上的平行于坐标轴的直线段的轴测图仍与相应的轴测轴平行；且该线段的轴测图与原线段的长度比，就是该轴测轴的轴向伸缩系数或简化系数。因此，当确定了空间的几何形体在直角坐标体系中的位置后，就可按选定的轴向伸缩系数或简化系数和轴间角作出它的轴测图。

6.1.3 轴测图的分类

轴测图分为正轴测图和斜轴测图两大类。当投影方向垂直于轴测投影面时，称为正轴测图，当投射方向倾斜于轴测投影面时，称为斜轴测图。

由此可见：正轴测图是由正投影法得到的，而斜轴测图则是用斜投影法得到的。在正轴测图中，三个轴向伸缩系数均相等的，称为正等轴测图；两个轴向伸缩系数相等的，称为正二轴测图；三个轴向伸缩系数均不相等的，称为正三轴测图。同样，在斜轴测投影中，三个轴向伸缩系数均相等的，称为斜等轴测图；轴测投影面平行于一个坐标平面，且平行于坐标平面的两个轴的轴向伸缩系数相等的，称为斜二轴测图；三个轴向伸缩系数均不相等的，称为斜三轴测图。（正等轴测图、正二轴测图、正三轴测图、斜二轴测图、斜三轴测图可分别简称为正等测、正二测、正三测、斜等测、斜二测、斜三测。）

工程中用的较多的是正等轴测图和轴测投影面平等于坐标平面 $X_0O_0Z_0$ 的一种斜二轴测图。本书也只介绍这两种轴测图。

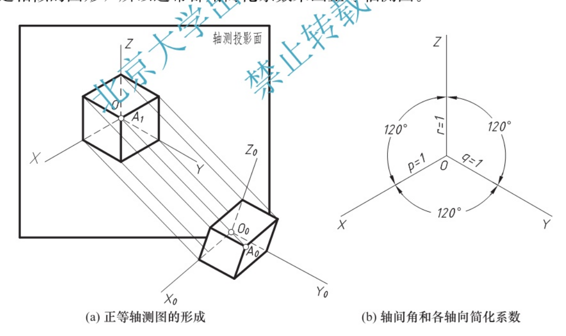
作物体的轴测图时，应先选择画哪一种轴测图，从而确定各轴向伸缩系数和轴间角。轴测轴可根据已确定的轴间角，按表达清晰和作图方便来安排，而 Z 轴常画在铅垂位置。在轴测图中，用粗实线画出物体的可见轮廓，为了使画出的图形明显起见，通常不画出物体的不可见轮廓，但在必要时，可用虚线画出物体的不可见轮廓。

6.2　正等轴测图

6.2.1　轴间角和各轴向的简化系数

如图 6.2(a)所示，使三条坐标轴对轴测投影面处于倾角都相等的位置，也就是将图中立方体的对角线 O_0A_0 放在垂直于轴测投影面的位置，并以 O_0A_0 的方向作为投射方向，所得到的轴测图就是正等轴测图。

如图 6.2(b)所示，正等轴测图的轴间角都是 120°，各轴向伸缩系数都相等，即 $p_1=q_1=r_1=0.82$。为了作图简便起见，常采用简化系数，即 $p_1=q_1=r_1=1$。采用简化系数作图时，沿各轴向的所有尺寸都用真实长度量取，简捷方便。因而画出的图形沿各轴向的长度都分别放大了约 1/0.82≈1.22 倍，但因为这个图形与用各轴向伸缩系数的 0.82 画出的轴测图是相似的图形，所以通常都用简化系数来画正等轴测图。



(a) 正等轴测图的形成　　(b) 轴间角和各轴向简化系数

图 6.2　正等轴测图

6.2.2　平行于坐标面的圆的正等轴测图

图 6.3 所示为一个圆柱的两面投影图和正等轴测图。因为圆柱的顶圆和底圆分别在坐标面 $X_0O_0Z_0$ 及其平行面上，与轴测投影面都不平行，所以这些圆的正等轴测图都是椭圆，可用四段圆弧连成的近似椭圆画出，这个圆柱的正等轴测图的作图过程可参阅例 6－3

解答中前面部分的有关内容。作图时，可将这个圆柱的顶圆和底圆看作四条边分别平行于坐标轴 X、Y 的正方形的内切圆。坐标面 $X_0O_0Z_0$ 上的圆的正等轴测图近似椭圆的作图过程，则如图 6.4 所示。

(a) 两面投影图　　(b) 正等轴测图

图 6.3　圆柱

(a)　(b)　(c)　(d)

图 6.4　平行于坐标面的圆的正等轴测图——近似椭圆的作法

(1) 通过圆心 O_0 和坐标轴作圆的外切正方形，切点为 1_0、2_0、3_0、4_0，如图 6.4(a) 所示。

(2) 作轴测轴和切点 1_1、2_1、3_1、4_1，通过这些点作外切正方形的正等轴测图菱形，并作对角线，如图 6.4(b)所示。

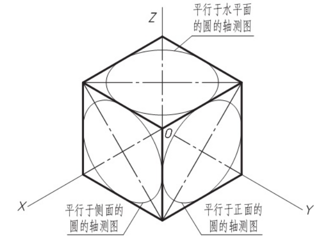


图 6.5　平行于坐标面的圆的正等轴测图

(3) 过 1_1、2_1、3_1、4_1 作各边的垂线，交得圆心 A_1、B_1、C_1、D_1。A_1、B_1 即短轴对角线的顶点，C_1、D_1 在长轴对角线上，如图 6.4(c)所示。

(4) 以 A_1、B_1 为圆心，A_11_1 为半径，作 1_12_1、3_14_1；以 C_1、D_1 为圆心，C_11_1 为半径，作 1_14_1、3_12_1，连成近似椭圆，如图 6.4(d)所示。

图 6.5 画出了立方体表面上的三个内切圆的正等轴测图椭圆，它们都可以用图 6.4

的作法分别画出。

平行于坐标面的圆的正等轴测图都是椭圆，通常都用图 6.4 所示的作法画成以圆弧拼得的近似椭圆。椭圆的长轴垂直于与圆平面垂直的坐标轴的轴测图(轴测轴)；短轴则平行于这条轴测轴。例如，平行坐标面 $X_0O_0Z_0$ 的圆的正等轴测图椭圆的长轴垂直于 Z 轴，而短轴则平行于 Z 轴。用各轴向简化伸缩系数画出的正等轴测图椭圆，其长轴约等于 $1.22d$(d 为圆的直径)，短轴约等于 $0.7d$。

6.2.3　正等轴测图画法举例

用简化系数画物体的正等轴测图，作图较方便。因此，在一般情况下常用正等轴测图来绘制物体的轴测图。尤其当物体上具有平行于两个或三个坐标面的圆时，由于正等轴测图椭圆的作图方法较为简便，因而绘制轴测图时，更适宜选用正等轴测图。

画轴测图的方法有坐标法、切割法和综合法三种。综合法是既使用坐标法，又使用切割法作轴测图的方法。

通常可按下列步骤作出物体的正等轴测图。

(1) 对物体进行形体分析，确定坐标轴。

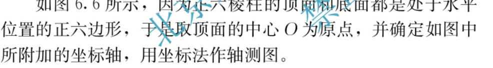
(2) 作轴测轴，按坐标关系画出物体上点和线，从而连成物体的正等轴测图。若物体上有平行于坐标面的圆时，则用图 6.4 所示的方法作近似椭圆。

应该注意：在确定坐标轴和具体作图时，要考虑作图简便，有利于按坐标关系定位和度量，并尽可能减少作图线。

【例 6-1】　作图 6.6 所示的正六棱柱的正等轴测图。

解：

(1) 形体分析，确定坐标轴。



如图 6.6 所示，因为正六棱柱的顶面和底面都是处于水平位置的正六边形，于是取顶面的中心 O 为原点，并确定如图中所附加的坐标轴，用坐标法作轴测图。

(2) 作图过程如图 6.7 所示。

① 作轴测轴 OX、OY、并在其上量得 1_1、4_1 和 a_1、b_1，如图 6.7(a)所示。

② 通过 a_1、b_1 作 X 轴的平行线，量得 2_1、3_1、5_1、6_1，连成顶面，如图 6.7(b)所示。

③ 作轴测轴 OZ，由点 6_1、1_1、2_1、3_1 作 Z 轴的平行线，沿 Z 轴量得 H，得 7_1、8_1、8_1、10_1，如图 6.7(c)所示。

图 6.6　正交棱柱的两视图

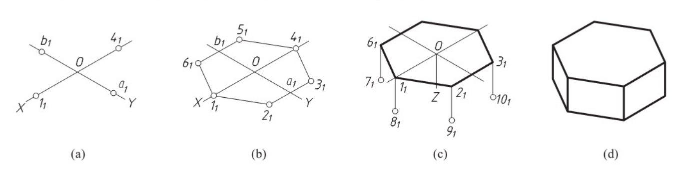


图 6.7　作正六棱柱的正等轴测图

④ 连接7_1、8_1、9_1、10_1，擦去作图线和符号，加深图线，作图结果如图 6.7(d)所示。

【例 6-2】 作图 6.8 所示的垫块的正等轴测图。

解：

(1) 形体分析，确定坐标轴。由图 6.8 所示的三视图通过形体分析和线面分析可知，垫块是由长方体被一个正垂面和一个铅垂面切割而成。所以可先画出长方体的正等轴测图，然后按切割法，把长方体上需要切割掉的部分逐个切去，即可完成垫块的正等轴测图。

为了方便地画出长方体的正等轴测图，现确定如图 6.8 中所附加的坐标轴。

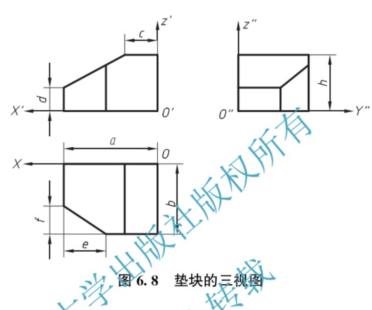


图 6.8　垫块的三视图

(2) 作图过程如图 6.9 所示。

① 作轴测轴。按尺寸 a、b、c 画出尚未切割进的长方体的正等轴测图，如图 6.9(a)所示。

② 根据三视图中尺寸 c 和 d 画出长方体左上角被正垂面切掉一个三棱柱后的正等轴测图，如图 6.9(b)所示。

③ 在长方体被正垂面切割后，再根据三视图中的尺寸 e 和 f 画出左前角被一个铅垂面切割掉的三棱柱后的正等轴测图，如图 6.9(c)所示。

④ 擦去作图线，加深，作图结果如图 6.9(d)所示。

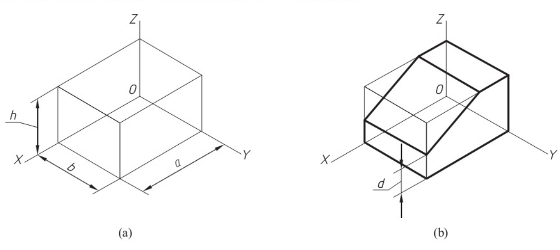
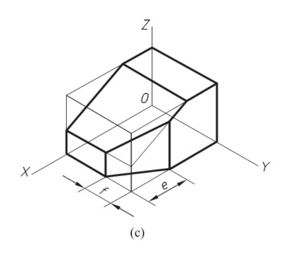
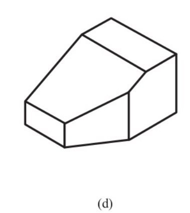


图 6.9　作垫块的正等轴测图



(c)



(d)

图 6.9　作垫块的正等轴测图(续)

【例 6－3】　作图 6.10 所示的轴套的正等轴测图。

解：

(1) 形体分析，确定坐标轴。如图 6.10 所示，因为轴套的轴线是铅垂线，顶圆和底圆都是水平圆，于是取顶圆的圆心为原点，确定图中所附加的坐标轴。

可用综合法解题，即先用坐标法作出空心圆柱和顶端的键槽缺口，再用切割法画出整条键槽。

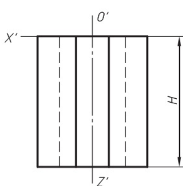
(2) 作图过程如图 6.11 所示。

① 作轴测轴。画顶面的近似椭圆，再如图 6.11(a)所示，把三段圆弧的圆心向下移 H，作底面近似椭圆的可见部分。

② 作与两个椭圆相切的圆柱面轴测投影的轮向轮廓线及轴孔，如图 6.11(b)所示。

③ 由 L 定出 1_1；由 1_1 定 2_1、3_1 由 2_1、3_1 定 4_1、5_1；再作平行于轴测轴的各轮廓线，定出 6_1、7_1、8_1，画全键槽，如图 6.11(c)所示。

④ 作图结果如图 6.11(d)所示。



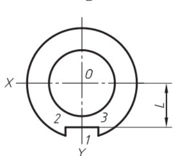
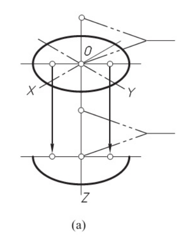
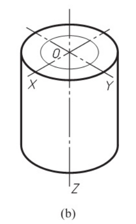


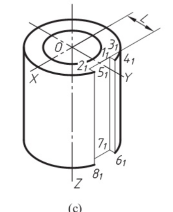
图 6.10　轴套的两视图



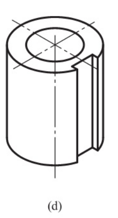
(a)



(b)



(c)



(d)

图 6.11　作轴套的正等轴测图

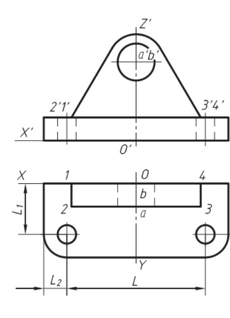


图 6.12　支架的两视图

【例 6-4】　作图 6.12 所示的支架的正等轴测图。

解：

(1) 形体分析，确定坐标轴。如图 6.12 所示，支架由上、下两块板组成。上面一块竖板的顶部是圆柱面，两侧的斜壁与圆柱面相切，中间有一个圆柱通孔。下面是一块带圆角的长方形底板，底板的左、右两边都有圆柱通孔。

因支架左右对称，取后底边的中点为原点，确定图中所附加的坐标轴，可用综合法作这个支架的正等轴测图。

(2) 作图过程如图 6.13 所示。

① 作轴测轴。先画底板的轮廓，再如图 6.13(a)所示，画竖板与它的交线 $1_1 2_1$ 和 $3_1 4_1$。确定竖板后孔的圆心 B_1，由 B_1 定出前孔的圆心 A_1，画出竖板圆柱面顶部的正等轴测图近似椭圆。

② 由 1_1、2_1、3_1 各点作切线，再作出竖板右上方的圆弧轮廓线的公切线和竖板上的圆柱孔，完成竖板的正等轴测图。由 L_1、L_2 和 L 确定底板顶面上两个圆柱孔口的圆心，作出这两个孔的正等轴测图近似椭圆，如图 6.13(b)所示。

(a)　(b)

(c)　(d)

图 6.13　作支架的正等轴测

③ 从底板顶面上圆角的切点作切线的垂线，交得圆心 C_1、D_1，再分别作底面圆角的正等轴测图。最后，作右边两弧的公切线，完成切割成带两个圆角的底板的正等轴测图，如图 6.13(c)所示。

④ 擦去作图线，加深，作图结果如图 6.13(d)所示。

6.3　斜二轴测图

6.3.1　轴间角和各轴向伸缩系数

如图 6.14 所示，将坐标轴 O_0Z_0 放置成铅垂位置，并使坐标平面 $X_0O_0Z_0$ 平行于轴测投影面，当投射方向与三个坐标轴都不相平行时，得图 6.14 所示的斜轴测图。在这种情况下，轴测轴 X 和 Z 仍为水平方向和铅垂方向，轴向伸缩系数 $p_1=r_1=1$，物体上平行于坐标平面 $X_0O_0Z_0$ 的直线、曲线和平面图形在这样的斜轴测图中都反映真长和真形；而轴测轴 Y 的方向和轴向的伸缩系数 q_1 可随着投射方向的变化而变化，当取 $q_1\neq1$ 时，即为一种斜二轴测图。

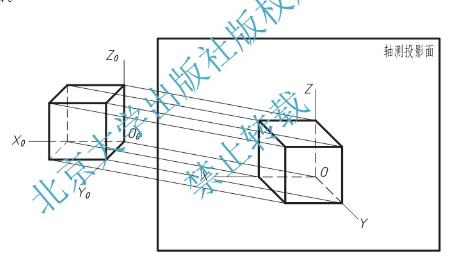
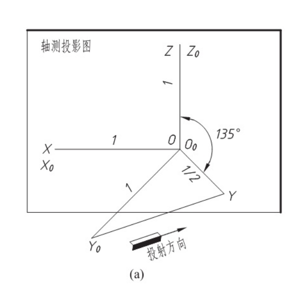


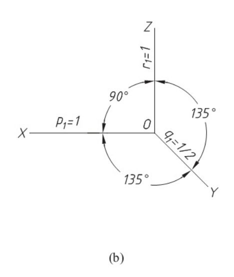
图 6.14　斜二轴测图的形成

本节只介绍一种一般常用的斜二轴测图。如图 6.15(a)所示，将坐标轴 O_0Z_0 和 O_0X_0 放在轴测投影面上，其中 O_0Z_0 轴仍放成铅垂位置，轴测轴 X 和 Z 都分别与坐标轴重合。通过 O(与 O_0 重合)在轴测投影面上作与 OZ 成 135°的直线，以此作为轴测轴 Y，并在其上从 O 取坐标轴的一半长度，得点 Y，用 Y_0Y 作为投射方向，就可得到这种一般常用的斜二轴测图，通常就将这种斜二轴测图简称斜二测(这种斜二轴测图是 GB/T 4458.3—1984《机械制图 轴测图》和 GB/T 14692—1993《技术制图 投影法》中所提出的一般常用的斜二测，但这两个国家标准中的这个术语已被 GB/T 16948—1997《技术产品文件 词汇 投影法术语》中的规定所代替，因此，这里所介绍的只是斜二轴测图中一般常用的一种)。

图 6.15(b)表示了本书所介绍的一种斜二轴测图的轴间角和各轴向伸缩系数：$\angle XOZ=90°$，$\angle XOY=\angle YOZ=135°$，$p_1=r_1=1$，$q_1=1/2$。



(a)



(b)

图 6.15　斜二轴测图的轴间角图

6.3.2　平行于坐标面的圆的斜二轴测图

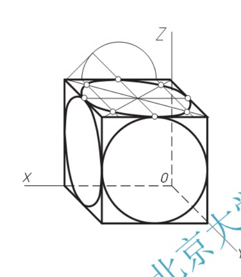


图 6.16　平行与坐标面的圆的斜二轴测图

图 6.16 画出了立方体表面上的三个内切圆的斜二轴测图；平行于坐标平面 $X_0O_0Z_0$ 的圆的斜二轴测图，仍是大小相同的圆；平行于坐标两面 $X_0O_0Y_0$ 和 $Y_0O_0Z_0$ 的圆的斜二轴测图是椭圆。

作平行于坐标平面 $X_0O_0Y_0$ 或 $Y_0O_0Z_0$ 的圆的斜二轴测图时，可用八点法作椭圆；先画出圆心和两条平行于坐标轴的直径的斜二轴测图，这就是斜面二轴测图椭圆的一对共轭直径，由这对共轭直径按习题集的附页中所讲述的八点法作出斜二轴测图椭圆。图 6.16 中表示了平行于坐标平面 $X_0O_0Y_0$ 的圆的斜二轴测图椭圆的画法。同样地也可作出平行于坐标平面 $Y_0O_0Z_0$ 的圆的斜二轴测图椭圆。

作平行于坐标平面 $X_0O_0Y_0$ 或 $Y_0O_0Z_0$ 的圆的斜二轴测图椭圆也可用由四段圆弧相切拼成的近似椭圆，但画法较麻烦，所以通常就用八点法绘制。因为用八点法绘椭圆不是很方便，所以只有当物体平行于坐标平面的圆时，采用斜二轴测图才最有利。当有平行于坐标平面 $X_0O_0Y_0$ 或 $Y_0O_0Z_0$ 的圆时，则最好避免选用斜二轴测图，而以选用正等轴测图为宜。

6.3.3　斜二轴测图画法举例

作轴测图时，在物体上有比较多的平行于坐标两面 $X_0O_0Z_0$ 的圆或曲线的情况下，常选用斜二轴测图作图，较为方便。

画斜二轴测图的方法和步骤与作正等轴测图相同。

【例 6-5】　作图 6.17 所示的圆台的斜二轴测图。

解：

(1) 形体分析，确定坐标轴。如图 6.17 所示，这是一个具有同轴圆柱孔的圆台，

圆台的前、后端面和孔口都是圆。因此将前、后端面放成平行于坐标平面 $X_0O_0Z_0$ 的位置，作图就很方便。

取后端的圆心为原点，确定图中所附加的坐标轴。

(2) 作图过程如图 6.18 所示。

① 作轴测轴，并在 Y 轴上量取 $L/2$，定出前端面圆的圆心 A_1，如图 6.18(a)所示。

② 画出前后两个端面的外轮廓圆和孔口的斜二轴测图，如图 6.18(b)所示。

③ 作两端面为轮廓圆的公切线以及后孔口的可见部分，面圆的圆心 A_1，如图 6.18(c)所示。

④ 作轴测轴，并在 Y 轴上量取 $L/2$，定出前端面圆的圆心 A_1，如图 6.18(d)所示。

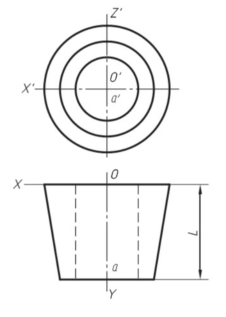


图 6.17　具有圆柱孔的圆台的两视图

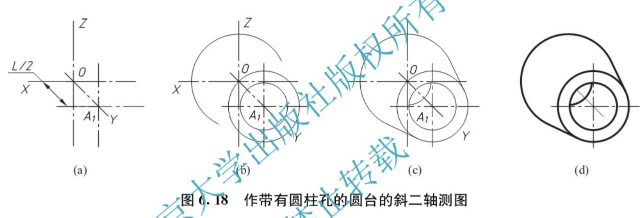


图 6.18　作带有圆柱孔的圆台的斜二轴测图

【例 6－6】　作图 6.19 所示组合体的斜二轴测图。

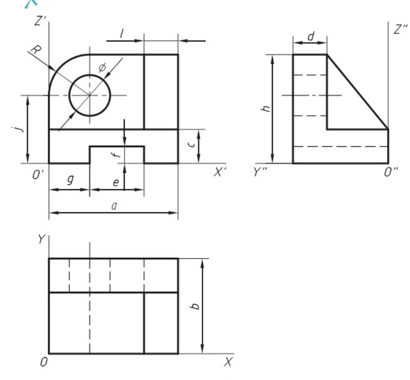


图 6.19　组合体的三视图

解：

(1) 形体分析，确定坐标轴。如图 6.19 所示，组合体由一块底板，一块竖板和一块支撑三角板叠加而成。为作图方便起见，可先画出底板，再画竖板，最后画支承三角板。取底板左前方的角点为原点，确定图中所附加的坐标轴。

(2)作图过程如图 6.20 所示。

① 按三视图中确定的轴向作轴测轴，由三视图中所标注的尺寸 a、b、c 画出底板，由尺寸 e、f、g 画出底部的通槽，如图 6.20(a)所示。

② 擦去轴测轴，由尺寸 d、h 和 R、j 在底板的后上方画出竖板，由尺寸∅画出竖板上的圆柱通孔，如图 6.20(b)所示。

③ 擦去形体分析后多余的图线，由尺寸 l 在竖板和底板的右端画出支承三角板，如图 6.20(c)所示。

④ 擦去形体分析后多余的图线，加深，作图结果如图 6.20(d)所示。

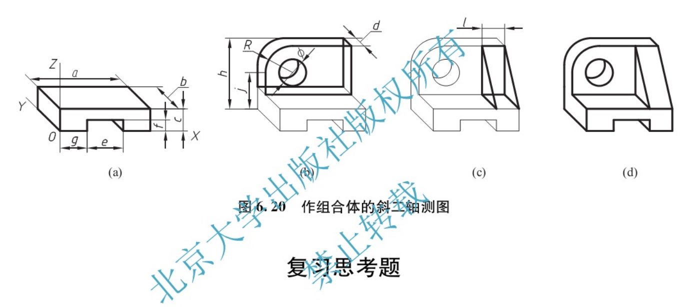


图 6.20　作组合体的斜二轴测图

复习思考题

1. 轴测图分为哪两大类？与多面正投影相比较，有哪些特点？
2. 正等测属于哪一类轴测图？它的轴间角、各轴向伸缩系数分别为何值？它们的简化伸缩系数为何值？
3. 试述平行于坐标面的圆的正等测近似椭圆的画法。这类椭圆的长、短轴的位置有什么特点？
4. 斜二测属于哪一类轴测图？它的轴间角和各轴向伸缩系数分别为何值？
5. 平行于哪一坐标平面的圆在斜二测中仍为圆，且大小相等？
6. 当物体上具有平行于两个或三个坐标面的圆时，选用哪一种轴测图较适宜？
7. 当物体上具有较多的平行于坐标面 XOY 的圆或者曲线时，选用哪一种轴测图作图较方便？

第7章 机件的表达方法

在生产实际中，当机件的形状和结构比较复杂时，如果仍用前面所讲的两视图或三视图，就难于把它们的内外形状准确、完整、清晰地表达出来。为准确清晰地表达机件，技术制图和机械制图国家标准中规定了机件的各种画法——视图、剖视、断面、局部放大图、简化画法和其他规定画法等。本章着重介绍一些常用的表达方法。

技术图样应采用正投影法绘制，并优先采用第一角画法。绘制技术图样时，应首先考虑看图方便。根据物体的结构特点，选用适当的表达方法，在完整、清晰表达物体形状的前提下，力求制图简便。

7.1 视　　图

视图是根据有关标准和规定，用正投影法所绘制的物体的图形。视图主要用来表达机件的外部结构和形状，一般只画出表达机件的可见部分，必要时才用虚线表达其不可见部分。

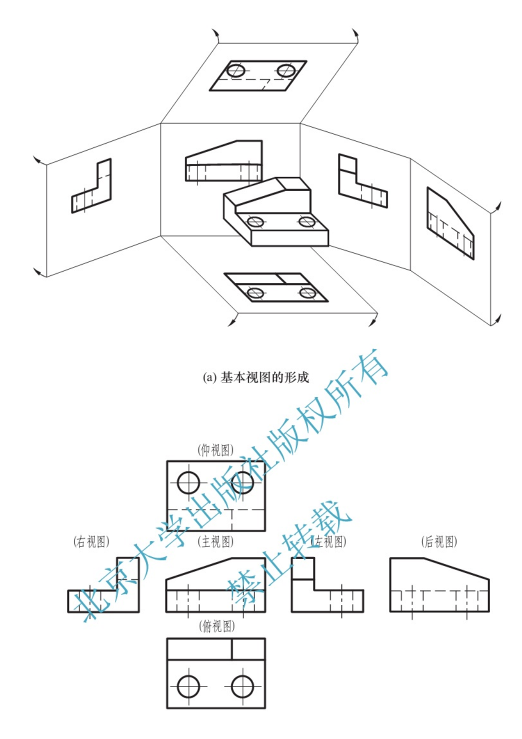
视图有基本视图、向视图、局部视图和斜视图四种，可根据机件的结构形状和特点按需选用。

7.1.1 基本视图及其配置

对于形状比较复杂的机件，用两个或三个视图尚不能完整、清楚地表达它们的内外形状时，则可根据国家标准规定，如图 7.1(a)所示，在原有三个投影面的基础上，再增设三个投影面，组成一个正六面体，这六个投影面称为基本投影面。

机件向基本投影面投影所得的视图，称为基本视图。六个基本视图的名称，除了前面已介绍的主视图、俯视图和左视图三个视图之外，还有由右向左投影所得的右视图，由下向上投影所得的仰视图，由后向前投影所得的后视图。

具体作图时，投影面按图 7.1(a)所示展开成同一个平面，基本视图的配置关系如图 7.1(b)所示。在同一张图中按图 7.1(b)配置视图时，一律不标注视图的名称。



(a) 基本视图的形成

(b) 基本视图的规定配置

图 7.1　基本视图

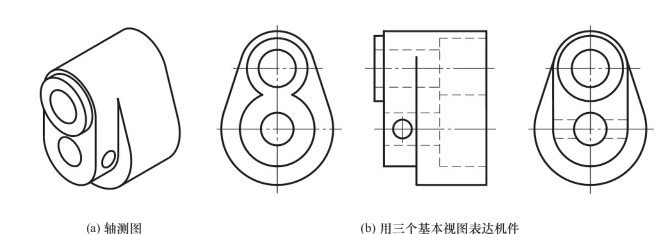
六个基本视图之间仍保持“长对正、高平齐、宽相等”的投影关系，即：

主、俯、仰、后——长对正；

主、左、右、后——高平齐；

俯、左、仰、右——宽相等。

在用视图表达机件时，不一定六个基本视图都画，在明确表示机件的前提下，应使视图的数量最少。如图 7.2(a)所示的机件，左右两个方向的形状不一样，如果用主、左视图来表达，则左视图虚线较多，影响图形清晰程度和增加标注尺寸的难度，用图 7.2(b)所示的主、左、右三个视图即可表达清楚，其他视图可不必画出。



(a) 轴测图　　(b) 用三个基本视图表达机件

图 7.2　机件的表达

7.1.2　向视图

向视图是可以自由配置的视图。若一个机件的基本视图不按基本视图的规定配置，或不能画在同一张图纸上，则可画向视图，这时，应在视图上方标注大写拉丁字母“×”，称为×视图，在相应的视图附近用箭头指明投影方向，并注写相同的字母“×”，如图 7.3 所示。

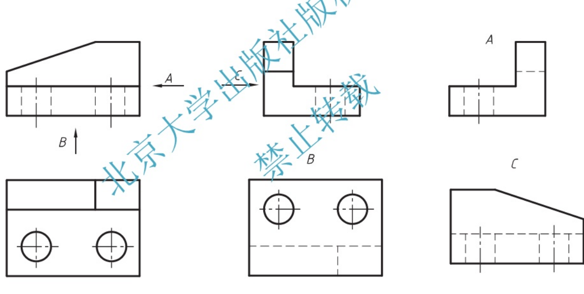


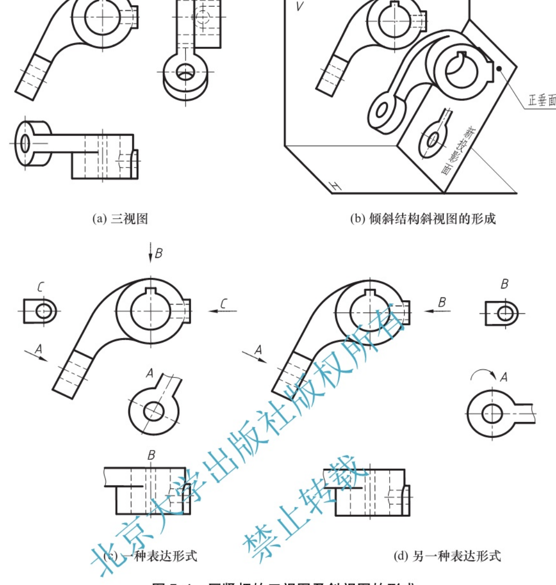
图 7.3　向视图及其标注

7.1.3　斜视图

机件向不平行于任何基本投影面的平面投影所得的视图称为斜视图。

图 7.4(a)所示为压紧杆的三视图，由于压紧杆的耳板是倾斜的，所以它的俯视图和左视图都不反映实形，而且画图较困难，看图也不方便。为了清晰地表达压紧杆倾斜部分的结构，如图 7.4(b)所示，可选择一个与其倾斜部分平行且垂直于一个基本投影面的辅助投影面，将该部分向辅助投影面投影，然后将此投影面按投影方向旋转到与其垂直的基本投影面上，如图 7.4(c)、(d)所示。

因为画压紧杆的斜视图只是为了表达它的倾斜结构的局部形状，所以画出该部分的实形后，就可以用波浪线或双折线断开，不画其他部分，成为一个局部的斜视图。



(a) 三视图　　(b) 倾斜结构斜视图的形成

(c) 一种表达形式　　(d) 另一种表达形式

图 7.4　压紧杆的三视图及斜视图的形成

斜视图的标注与向视图类似，用箭头标注出投影方向(与倾斜部分垂直)，在箭头的附近注上字母(字母一律水平书写)，在斜视图的上方注上相同的字母，如图 7.4(c)、(d)所示。必要时，允许将斜视图旋转配置，此时应在斜视图的上方画出旋转符号“↷”或“↶”(旋转符号是半径为字高的半圆弧，箭头指向要与实际图形旋转方向一致，且将字母写在箭头一侧)，如图 7.4(d)所示。

7.1.4　局部视图

将机件的某一部分向基本投影面投影，所得的视图称为局部视图。当机件尚有局部形状没有表达清楚，而又没有必要画出完整的基本视图或向视图时，可采用局部视图来表达，如图 7.4 中的“*B*”和“*C*”向视图。

画局部视图时应注意以下几点。

(1) 在一般情况下，应于局部视图的上方标注视图的名称“×”，并在相应的视图附近用箭头指明投影方向，标注同样的字母“×”，如图 7.4(c)所示的 *B* 向局部视图。当局部视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略标注，如图 7.4(d)所示。

(2) 局部视图的断裂边界通常用波浪线或双折线表示，如图 7.4(c)所示的 *B* 向局部视图。

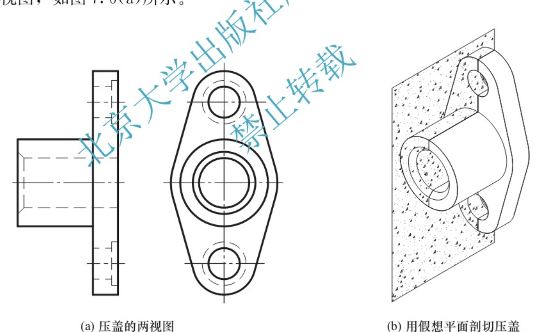
(3) 当局部视图所表示的局部结构是完整的，且外轮廓线又成封闭时，波浪线可省略不画，如图 7.4(d)所示的 *B* 向局部视图。

用波浪线作为断裂边界线时，波浪线不应超过断裂机件的轮廓线，应画在机件的实体上，不可画在机件的中空处。

7.2　剖　视　图

7.2.1　剖视图的概念和基本画法

剖视图主要用于表达机件的内部结构形状。当视图中存在虚线与虚线、虚线与实线重叠而难以用视图表达机件的不可见部分的形状时，以及当视图中虚线过多，影响到清晰读图和标注尺寸时，常常用剖视来表达。如图 7.5(a)所示压盖的两视图，就出现一些表达内部结构的虚线。为了清楚地表达机件的内部形状，可假想用剖切平面剖开机件，如图 7.5(b)所示，将处在观察者和剖切面之间的部分移去，而将余下部分向投影面投影，所得图形称为剖视图，如图 7.6(a)所示。



(a) 压盖的两视图　　　　(b) 用假想平面剖切压盖

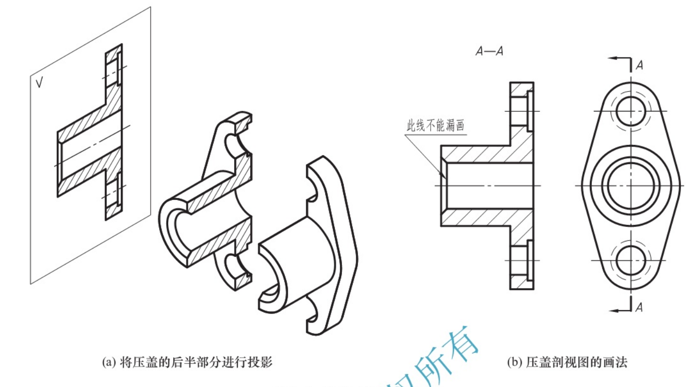
图 7.5　剖视图的概念

假想用机件的平行于正面的对称平面为剖切面切开机件后，移去了观察者和剖切面之间的一半，将留下的一半向正立投影面投影，就得到如图 7.6(b)所示的剖视图。

下面以图 7.6 所示压盖的剖视图为例，说明画剖视图的步骤。

(1) 确定剖切面的位置。如图 7.6 所示，选取平行于正立投影面的对称面为剖切面。

(2) 画剖视图。如图 7.6(a)所示，移去剖切开的压盖的前半部分，将剩余的后半部分向 *V* 面投影，画出如图 7.6(b)所示的剖视图。画图时，可先画出完整的左视图，再由左视图按投影关系画出主视剖视图。应特别注意有些表达内部形状的图线，如压盖左边圆柱



(a) 将压盖的后半部分进行投影　　(b) 压盖剖视图的画法

图 7.6　剖视的概念及画法

孔的倒角处圆锥面与圆柱面交线的投影等，不要遗漏；由于剖切是假想的，因此，当机件的一个视图画成剖视后，其他视图的表达方案应按完整的机件考虑。

（3）画剖面符号。在剖视图中，剖切面与机件接触的部分称为剖面区域，国家标准规定，剖面区域内要画剖面符号，不同的材料采用不同的剖面符号，见表 7－1。其中金属材料的剖面符号用与水平方向成 45°且间隔均匀的细实线画出，向左或向右倾斜均可，通常称为剖面线。图 7.6(b)所示的压盖即是按金属材料绘制的剖面线。在同一机件的剖视图及断面图中所有的剖面线方向和间隔必须一致。当某一剖视图的主要轮廓线与水平方向成 45°时，其剖面线应画成与主要轮廓线成 45°，但倾斜的方向及间隔仍与其他图形的剖面线一致。

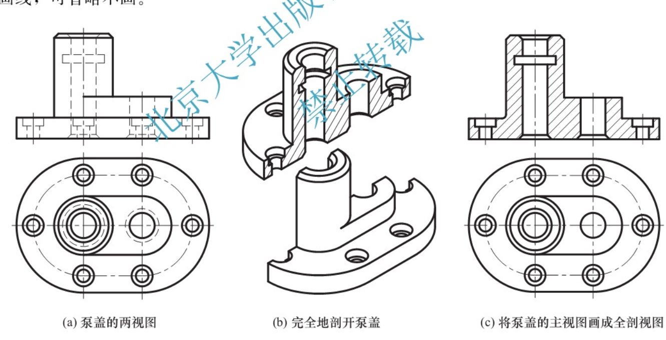
表 7－1　常见材料的剖面符号

金属材料(已有规定剖面符号者除外)		木质胶合板	
线圈绕组元件		基础周围的泥土	
转子、电枢、变压器和电抗器等的叠钢片		混凝土	
非金属材料(已有规定剖面符号者除外)		钢筋混凝土	
型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片、硬质合金刀片等		砖	

（续）

玻璃及供观察用的其他透明材料			格网（筛网、过滤网等）	
木材	纵剖面		液体	
	横剖面			

（4）剖视图的标注。标注要素包括符号、剖视图名称和剖切线。剖切符号由粗短画和箭头组成，剖切符号尽可能不与图形的轮廓线相交。粗短画（长 5～10mm 的粗实线）表示剖切面的起、讫和转折位置，箭头（画在起、讫处粗短画的外端，且与粗短画垂直）表示投射方向。一般应在剖视图的上方用字母标出剖视图的名称“×—×”，在相应的视图上剖切符号附近标出同样的字母“×”，如图 7.6(b)所示。当剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略箭头，如图 7.9(d)所示；当单一剖切平面通过机件的对称平面或基本对称的平面，且剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略标注，如图 7.7(c)所示，同样，在图 7.6 中也可省略标注。剖切线是表示剖切面位置的细点画线，可省略不画。



(a) 泵盖的两视图　　(b) 完全地剖开泵盖　　(c) 将泵盖的主视图画成全剖视图

图 7.7　全剖视图的画法示例

7.2.2　剖视图的种类

按照剖切面不同程度地剖开机件的情况，剖视图分为全剖视图、半剖视图和局部剖视图。

1. 全剖视图

用剖切面完全地剖开机件所得的剖视图，称为全剖视图。图 7.7(a)所示是泵盖的两视

图，从图中可看出它的外形比较简单，内形比较复杂，前后对称，上下和左右都不对称。如图 7.7(b)所示，假想用一个剖切平面沿泵盖的前后对称面将它完全剖开，移去前半部分，将后半部分向正立投影面作投影，便得出泵盖的主视全剖视图，如图 7.7(c)所示。

由于剖切平面与泵盖的前后对称平面重合，且其主、俯两视图按投影关系配置(长对正)，中间又没有其他图形隔开，即剖切位置明显、投影关系明确，这种情况可省略标注。在此例中，主视的全剖视图及俯视的外形图已将泵盖表达清楚，故虚线均可省略不画，即在剖视图中，在表达清楚的前提下，虚线尽可能省略不画。

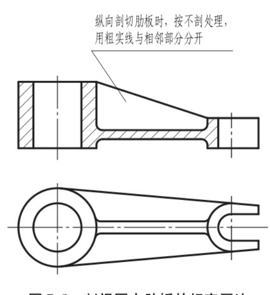


图 7.8　剖视图中肋板的规定画法

图 7.8 所示的拨叉，其左右端用水平板连接，中间用竖板相连，起加强作用，一般称之为肋。国家标准规定：对于机件的肋、轮辐及薄壁等，如按纵向剖切，这些结构都不画剖面符号，而用粗实线将它与邻接部分分开。图 7.8 所示拨叉的主视全剖视图中的肋就是按上述规定画出的。

2. 半剖视图

当机件具有对称面时，在垂直于对称平面的投影面上投影所得的图形，可以以对称中心线为界，一半画成剖视，另一半画成视图，这种剖视图称为半剖视图。

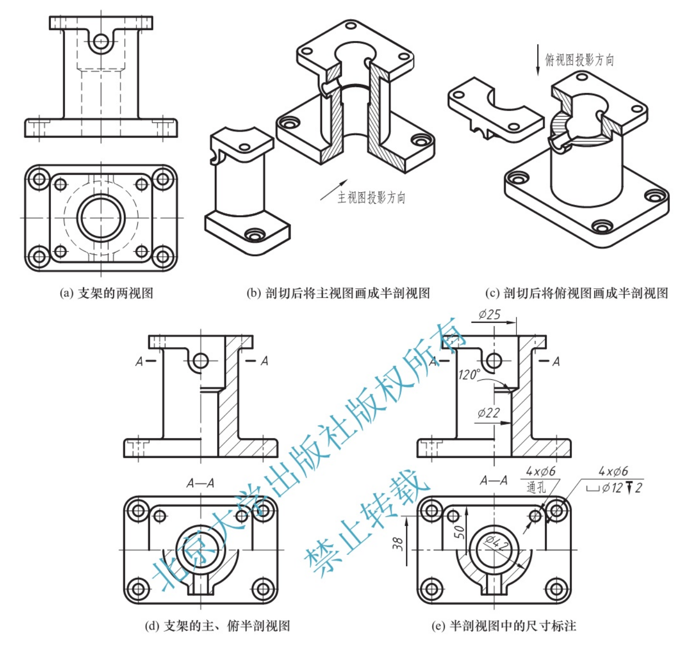
图 7.9(a)所示为支架的两视图，从图中可知，该零件的内、外形状都比较复杂，但前后和左右分别对称。为了清楚地表达这个支架，可用图 7.9(b)、(c)所示的剖切方法，将主视图和俯视图都画成半剖视图，如图 7.9(d)所示。

由图 7.9(d)可见：如果主视图采用全剖视图，则顶板下的凸台就不能表达出来；如果俯视图采用全剖视图，则长方形顶板及其四个小孔也不能表达出来。

画半剖视图时应注意：在半剖视图中，剖与不剖的分界线为其对称中心线，应画成细点画线，不能画成粗实线。由于图形对称，未剖部分的内部形状已由剖开部分表达清楚，因此表达未剖部分内部形状的细虚线不应再画出。但是，如果机件的某些内部形状在半剖视图中没有表达清楚，则在表达外部形状的半个视图中，应该将虚线画出，如图 7.9(d)所示顶板上的圆柱孔、底板上的带有沉孔的圆柱孔，都用虚线画出。

如图 7.9(d)所示，用前后对称平面剖切后所得的主视半剖视图，可省略标注；而用水平面剖切后所得的俯视半剖视图，因为剖切面不是支架的对称平面，所以必须在这个半剖视图的上方标出剖视图的名称“*A*—*A*”，并在另一个图形中用带字母 *A* 的剖切符号表示剖切位置，但由于两视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开，可省略表示投影方向的箭头。

图 7.9(e)所示是半剖视图中的尺寸注法。在半剖的主视图中，由于支架内部的孔在外形视图上省略不画，因此，ø22、ø25、钻孔锥顶角 120°等的尺寸线，一端画出箭头，指到尺寸界线，而另一端要略超出对称中心线，不画箭头。在 *A*—*A* 剖视图中，顶板上四个小圆孔的中心线之间的尺寸 38、顶板的宽 50 以及圆柱体的外径尺寸ø42 等也属这种情况。



(a) 支架的两视图　(b) 剖切后将主视图画成半剖视图　(c) 剖切后将俯视图画成半剖视图

(d) 支架的主、俯半剖视图　(e) 半剖视图中的尺寸标注

图 7.9　半剖视图的画法示例

3. 局部剖视图

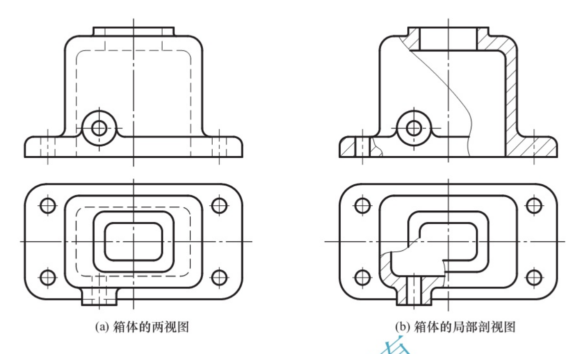
用剖切面局部地剖开机件所得的视图，称为局部剖视图。

图 7.10(a)所示为箱体的两视图。分析视图可以看出：箱体顶部有一个带圆角的矩形孔，底部是一块具有四个安装孔的底板，左下方有一个带凸台的通孔。该箱体的上下、左右、前后都不对称。内部和外部结构都需要表达，但它的两视图既不宜用全剖视图表达，也不能用半剖视图来表达，而以局部地剖开这个箱体表达为宜，如图 7.10(b)所示就是该箱体的局部剖视图。

画局部剖视图时必须注意以下几点。

(1) 当单一剖切平面的剖切位置明显时，可省略局部剖视图的标注，如图 7.10(b)所示。

(2) 局部剖视图用波浪线或双折线分界，如图 7.11 所示。波浪线不应与图样上其他



(a) 箱体的两视图　　(b) 箱体的局部剖视图

图 7.10　局部剖视图的画法示例

图线重合，且只能画在机件的实体部分，如遇孔、槽等中空结构时应断开，波浪线不能超出视图被剖切部分的轮廓线，如图 7.12 所示。

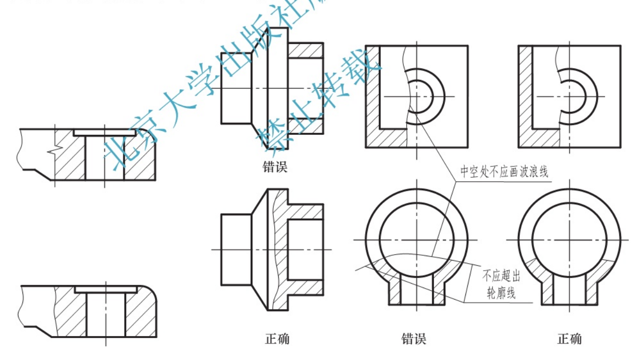


图 7.11　局部剖视图分界线的画法　　**图 7.12　局部剖视图中波浪线的画法**

（3）在一个视图中，局部剖视的数量不宜过多，以免使图形过于破碎。

局部剖视图是一种比较灵活的表达方法，当在剖视图中既不宜采用全剖视图，也不宜采用半剖视图时，则可采用局部剖视图来表达。图 7.13 所表示的三个机件，虽然它们前后、左右都对称，但因主视图的正中都分别有外壁或内壁的交线存在，因此主视图不宜画成半剖视图，而应画成局部剖视图，并尽可能将形体的内壁或外壁的交线清晰地显示出来。

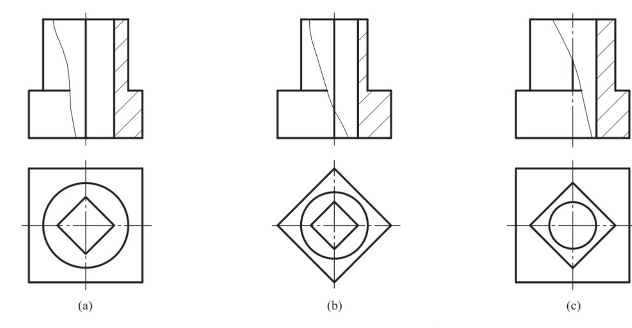


图 7.13　应用局部剖视图表达的示例

7.2.3　剖切面的种类及剖切方法

剖视图的剖切面有三种：单一剖切面、几个平行的剖切平面和几个相交的剖切面。画剖视图时，根据机件的结构特点，可选用其中一种剖切方法。

1. 单一剖切面

单一剖切面包括单一剖切平面、单一斜剖切平面、单一剖切柱面。

(1) 用单一剖切平面(平行于基本投影面)剖切。前面所讲的全剖视图、半剖视图和局部剖视图都是用平行于某一基本投影面的单一的剖切平面剖开机件后所得出的，这些都是最常见的剖视图。

(2) 用单一斜剖切平面(投影面垂直面)剖切。机件上倾斜的内部结构形状需要表达时可使用不平行于任何基本投影面(垂直于某一基本投影面)的剖切平面剖开机件如图 7.14 中所示的“*A*—*A*”。它表达了弯管及其顶部凸缘、凸台与通孔。

采用该方法作剖视图时，可如图 7.14(a)所示，标注出剖切位置、投影方向及剖视图名称。将剖视图按投影关系配置在与剖切符号相对应的位置；也可将剖视图平移至图纸的适当位置；在不致引起误解时，还允许将图形旋转，但旋转后的标注形式应如图 7.14(b)所示，加以旋转标识。

2. 几个平行的剖切平面

机件上有较多的内部结构，且分布在几个互相平行的平面上，用一个剖切平面无法将其都剖到时，可采用几个平行的剖切平面剖开机件，如图 7.15 所示的机件，用了两个互相平行的剖切平面剖切。用几个平行的剖切平面剖切时，其作图及标注应注意以下几点。

(1) 剖切平面的起、讫、转折处画粗短线并标注相同字母，在起讫外侧画上箭头，表示投影方向。

(2) 在相应的剖视图上方以相同的字母“×—×”标注剖视图的名称。当剖视图按投

(a)　　(b)

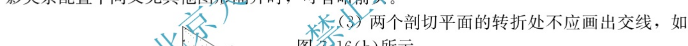


图 7.14　用倾斜的单一剖切平面剖切

影关系配置中间又无其他图形隔开时，可省略箭头。

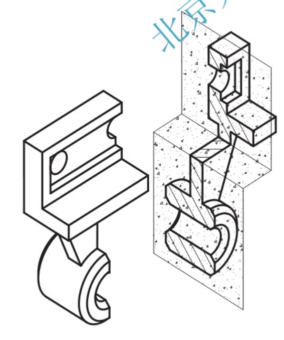


图 7.15　剖开机件

(3) 两个剖切平面的转折处不应画出交线，如图 7.16(b)所示。

(4) 剖切平面的转折处不应与图形的轮廓线相重合。

(5) 转折处要选择合适，避免在剖视图上出现不完整的要素，如图 7.16(c)所示。

(6) 只有当两个要素在图形上具有公共对称中心线或轴线时，可以以对称中心线或轴线为界，各画一半，如图 7.17 所示。

3. 几个相交的剖切面(交线垂直于某一基本投影面)

用两个相交的剖切面(交线垂直于某一基本投影面)剖开机件，如图 7.18(a)所示。这种方法主要用于表达具有公共回转轴线的机件的内部结构。

采用这种剖切方法时，先假想按剖切位置剖开机件，然后将被倾斜剖切面剖开的结构旋转到与选定的基本投影面平行，再进行投影。剖切面后的其他结构一般仍按原来的位置投影，如图 7.18(b)中小油孔的投影。

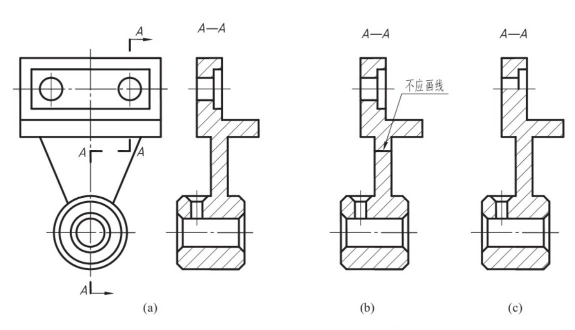


图 7.16　用几个平行的剖切平面剖切机件

当对称中心不在剖面上的部分剖切后产生不完整要素时，应将该部分按不剖绘制，仍按完整结构画出，如图 7.19所示。

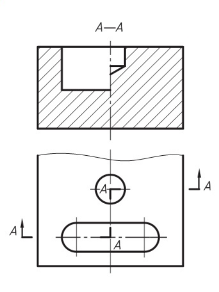


图 7.17　剖出不完整要素

采用这种剖切方法时，必须如图 7.18 所示，画出剖切符号，在剖切符号的起讫和转折处标注字母“×”，在剖切符号两端画出表示投影方向的箭头，并在剖视图上方注明剖视图的名称“×—×”；但当转折处位置有限而又不致引起误解时，允许省略标注转折处的字母。

当机件的内部结构形状较为特殊或复杂，用前面的几种剖切面剖切仍不能表达完整时，可采用组合的剖切面剖切，如图 7.20(a)所示。

采用这种剖切面剖切时，可采用展开画法，此时应标注“×—×展开”，如图 7.20(b)所示。

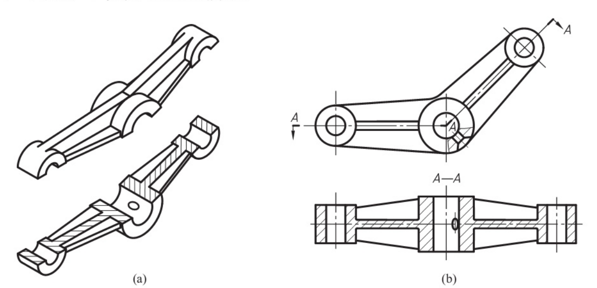


图 7.18　用两个相交的剖切平面剖切

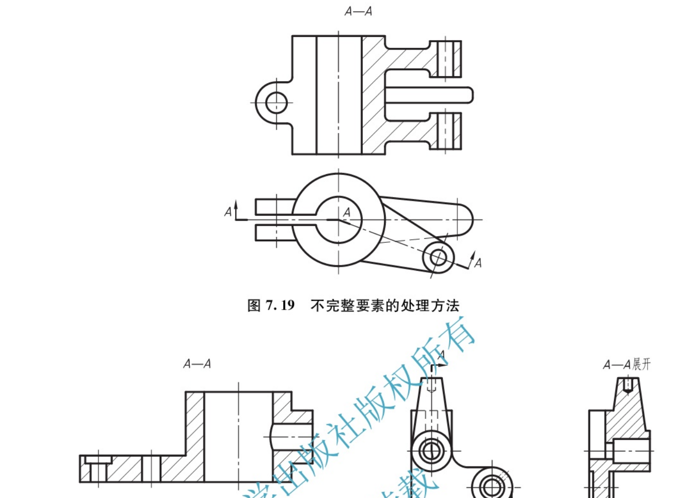


图 7.19　不完整要素的处理方法

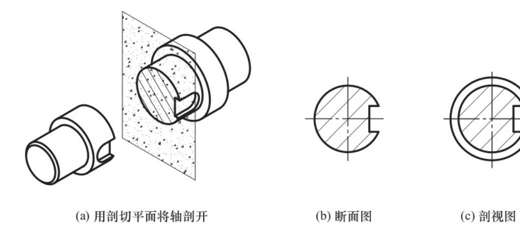
图 7.20　用组合的剖切平面剖切

7.3　断　面　图

7.3.1　断面图的基本概念

假想用剖切平面将机件的某处切断，仅画出断面的图形，这种图形称为断面图(简称断面)。对于一些机件的结构，有时绘制其断面图会比绘制其剖视图表达得更加简洁清楚，如图 7.21(a)所示的轴，在轴的键槽处将轴剖开，图 7.21(b)、(c)所示分别是其断面图和剖视图。显然图 7.21(b)表达得更加清楚。

对比图 7.21(b)和图 7.21(c)可知，断面图与剖视图的区别是：断面图只画出机件的



(a) 用剖切平面将轴剖开　　(b) 断面图　　(c) 剖视图

图 7.21　轴的剖切、断面图与剖视图

断面形状，而剖视图则将机件处在观察者和剖切平面之间的部分移去后，除了断面形状以外，还要画出机件留下部分的投影(属于体的投影)。

7.3.2　断面图的种类

断面图分为移出断面图和重合断面图两种。

1. 移出断面图

如图 7.22 所示，画在视图外的断面图，称为移出断面图。移出断面图的轮廓线用粗实线绘制。

移出断面图应尽量配置在剖切符号或剖切平面迹线的延长线上。剖切平面迹线是剖切平面与投影面的交线，用细点画线表示，如图 7.22(c)所示。

必要时也可将移出断面图配置在其他适当的位置，如图 7.22(a)、(b)所示。在不致引起误解时，允许将图形旋转。

断面图形对称时，也可如图 7.22(d)所示，画在视图的中断处。

当剖切平面通过回转面形成的孔或凹坑的轴线时，则这些结构应按剖视绘制，如图 7.22(a)、(c)、(e)所示。

当剖切平面通过非圆孔或槽，会导致出现完全分开的两个断面时，则这些结构应按剖视绘制，如图 7.22(f)所示。

由几个相交的剖切平面剖切机件得出的断面图，中间应断开，如图 7.22(g)所示。

移出断面图一般应用剖切符号表示剖切位置，用箭头表示投影方向并注上字母，在断面图的上方用同样的字母标出相应的名称“×—×”，如图 7.22(b)所示。

配置在剖切符号或其延长线上的不对称的移出断面，可省略字母，如图 7.22(a)所示。

不配置在剖切符号延长线上的对称移出断面，以及按投影关系配置的不对称移出断面，可省略箭头，如图 7.22(a)、(e)所示。

配置在剖切平面迹线延长线上对称的移出断面图，以及配置在视图中断处的对称的移出断面图，都不必标注，如图 7.22(c)、(d)所示。

2. 重合断面图

在不影响图形清晰的条件下，断面图也可按投影关系画在视图内。画在视图内的断面

(a) (b) (c)

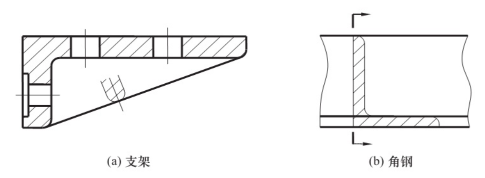
(d) (e)

(f) (g)

图 7.22 移出断面图

图称为重合断面图，重合断面图的轮廓线用细实线绘制，当视图中的轮廓线与重合断面图形重叠时，视图中的轮廓线仍需连续画出，不可间断，如图 7.23(b)所示。

当重合断面为对称图形时，可省略标注，如图 7.23(a)所示支架的肋；当重合断面为不对称图形时，不必标注字母，但仍要标注剖切符号和箭头，如图 7.23(b)所示。



(a) 支架　　(b) 角钢

图 7.23 重合断面图

7.4　局部放大图、简化画法和其他规定画法

为了使作图简便、看图清晰，除了前面所介绍的表达方法外，还可以采用局部放大图、规定画法和简化画法表示机件。

7.4.1　局部放大图

当机件上某些细小结构用原图比例表达不清楚或不便于标注尺寸时，可将这些结构用大于原图形所采用的比例单独画出。这种将机件的部分结构用大于原图形所采用的比例画出的图形，称为局部放大图，如图 7.24 所示。

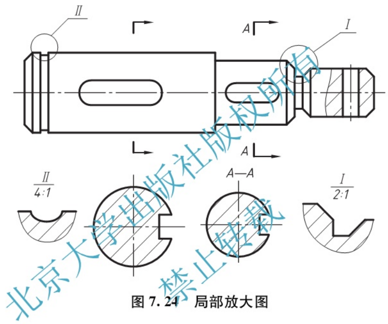


图 7.24　局部放大图

局部放大图的放大比例，是指其与机件的比例，与原图所采用的比例无关。局部放大图可画成视图、剖视图和断面图，它与被放大部分的表达方法无关。若局部放大图为剖视图或断面图时，其剖面符号的间距不可放大，仍与原图一致。

局部放大图应尽量配置在被放大部位的附近。

当同一机件上有几个被放大的部位时，必须用大写罗马数字依次标明被放大的部位，并在局部放大图的上方标出相应的罗马数字和所采用的比例，如图 7.24 所示。

当机件上被放大的部位仅有一个时，在局部放大图的上方只需注明所采用的比例即可。同一机件上不同部位的局部放大图，当图形相同或对称时，只需画出一个。

必要时可用几个图形表达同一被放大部位的结构，如图 7.25 所示。

7.4.2　简化画法和其他规定画法

其他常用的简化及规定画法如下。

(1) 当机件具有若干个相同结构，并按一定规律分布时，可只画出几个完整的结构，其余用细实线连接或用点画线表示其中心位置，但在图中必须注明该结构的总数，如图 7.26所示。

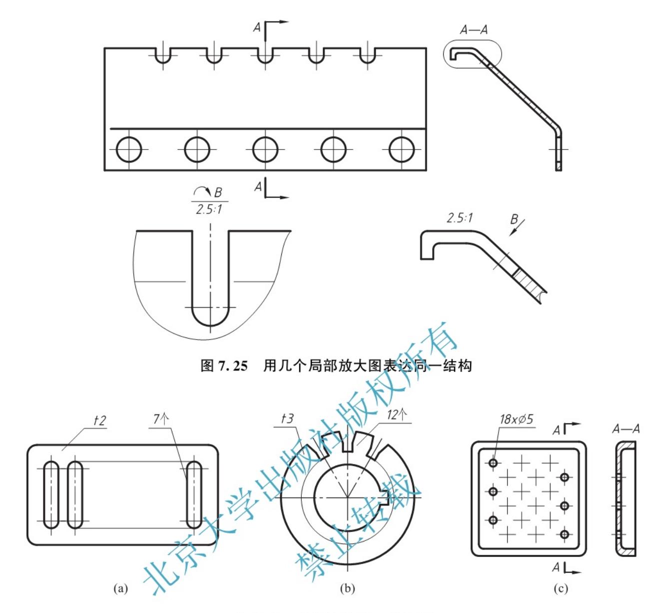


图 7.25　用几个局部放大图表达同一结构

图 7.26　简化画法及规定画法

(2) 在不致引起误解时，零件图中的移出断面，允许省略剖面符号，如图 7.27(a)所示。

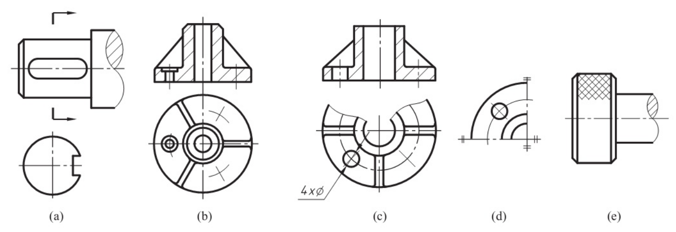
(3) 当需表达机件回转体结构上均匀分布的肋、轮辐、孔等，而这些结构又不处于剖切平面上时，可将这些结构旋转到剖切平面上画出，不需加任何标注，如图 7.27(b)、(c)所示。

(4) 在不致引起误解时，对于对称机件的视图可只画一部分，如图 7.27(c)所示；也可只画一半或四分之一，此时在对称中心线的两端必须画出两条与其垂直的平行细实线表示对称，如图 7.27(d)所示。

(5) 当机件上具有若干直径相同且成规律分布的孔(圆孔、螺孔、沉孔等)时，可以仅画出一个或几个，其余只需用点画线表示其中心位置，但在图中应注明孔的总数，如图 7.27(b)、(c)、(d)所示。

(6) 对于网状物、编织物或机件上的滚花部分，可在轮廓线附近用粗实线示意画出，并在零件图上或技术要求中注明这些结构的具体要求，如图 7.27(e)所示。

(7) 当机件上有圆柱形法兰，其上有均匀分布的孔时，可按图 7.28(a)所示的方法(由



(a)　(b)　(c)　(d)　(e)

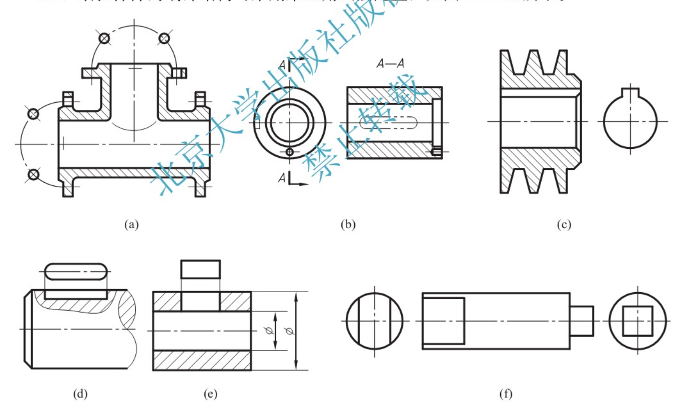
图 7.27　简化画法及规定画法

机件外向该法兰端面方向投影)表示。

(8) 当需要表示位于剖切面之前的结构时，可将其按假想投影的轮廓线即双点画线画出，如图 7.28(b)所示。

(9) 机件上对称结构的局部视图，如键槽、方孔等可按图 7.28(c)、(d)、(e)所示方法表示。

(10) 细长杆件的端部结构可采用第三角画法配置，如图 7.28(f)所示。



(a)　(b)　(c)

(d)　(e)　(f)

图 7.28　简化画法及规定画法

(11) 对机件上一些较小的结构，若在一个图形中已表示清楚，则在其他图形中可简化或省略，如图 7.29(a)、(b)所示。

(12) 在不致引起误解时，机件上的小圆角、锐边的小倒圆或 45°小倒角允许省略不画，但必须注明尺寸或在技术要求中加以说明，如图 7.29(c)、(d)、(e)所示。

(13) 当图形不能充分表达平面时，可用平面符号(相交的两细实线)表示，如图 7.30(a)、(b)所示。

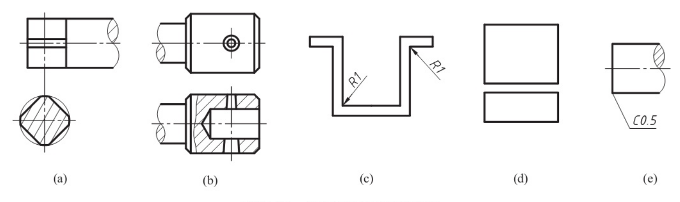


图 7.29　简化画法及规定画法

(14) 与投影面倾斜角度小于或等于 30°的圆或圆弧，其投影可用圆或圆弧代替，如图 7.30(c)所示。

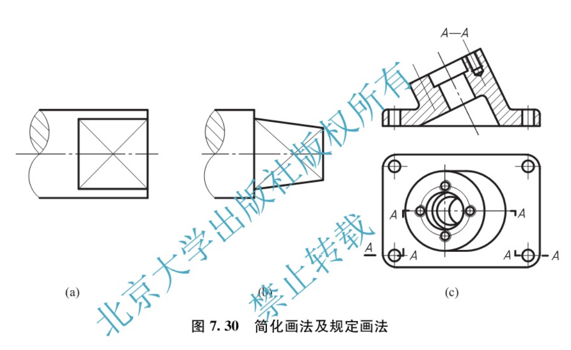


图 7.30　简化画法及规定画法

(15) 较长的机件，如轴、杆、型材、连杆等，沿长度方向的形状一致或按一定规律变化时，可断开后缩短画出，但要标注实际长度，如图 7.31 所示。

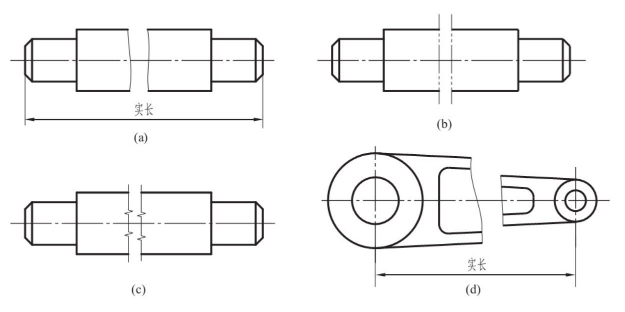


图 7.31　简化画法及规定画法

7.5　综合应用举例

当表达一个机件时，应根据机件的具体形状，适当选用前述介绍的机件常用的表达方法，画出一组视图，并恰当地标注尺寸，完整、清晰地表示出这个机件的形状和大小。下面具体举例说明。

如图 7.32 所示涡轮减速器箱体，采用了图 7.33 所示的表达方法，即用全剖的主视图、半剖的俯视图和局部剖的左视图，还用了四个局部视图和一个重合断面图。下面具体分析采用这些表达方法的目的和原因。

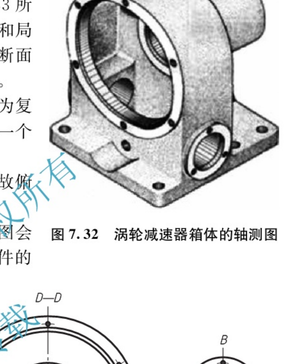


图 7.32　涡轮减速器箱体的轴测图

(1) 该件左右、上下均不对称，且内部结构较为复杂，故主视图采用了全剖视图，在此基础上另加了一个重合断面图以表示肋板的形状和厚度。

(2) 该件前后对称，右面圆柱上有一个凸台，故俯视图宜采用半剖视图。

(3) 该件左端面有六个螺纹孔，若选用全剖视图会将其全部剖掉，故左视图采用了局部剖视图，使该件的

图 7.33　涡轮减速器箱体的表达方案

内部和外部结构都表现了出来。因该件为前后对称，其左视图也可采用半剖视图的方式来表达。

(4) A 向局部视图表达了机件左下部的凹槽及一个螺纹孔；B 向局部视图表达了机件下部前后凸台的结构；F 向局部视图表达了机件肋板与相邻结构的连接关系；E 向局部视图主要表达了机件的底板结构，并采用了对称图形的简化画法。

视图的表达方案并不是唯一的，应用本章所学的知识，选择几种表达方案并认真分析对比，就可选择出较为恰当的表达方案，做到表达准确、清晰、简捷。

复习思考题

1. 基本视图总共有几个？它们是如何排列的？它们的名称是什么？当基本视图按规定配置时，在图样上是否标注出视图名称？

2. 除了基本视图外，按国家标准规定还可用哪几种视图表达机件？

3. 在剖视图中，剖切面后的虚线应如何处理？某些表达内部结构的图线在剖切之后变得可见了，应不应该画出？

4. 试述剖视图的种类、画法要点、标注方法和适用范围。

5. 剖切平面纵向通过机件的肋、轮辐及薄壁时，这些结构该如何画出？

6. 半剖视图中，外形视图和剖视图之间的分界线为何种图线？能否画成粗实线？

7. 剖视图与断面图有何区别？

8. 断面图有几种？断面图在图中应该如何配置？又应如何标注？何时可省略标注？什么情况下，某些结构应按剖视绘制？

第 8 章 标准件和常用件

在机器或部件中，对一些应用广泛的机件，通常由专门工厂成批或大量生产。为满足互换性的要求，可将其结构和尺寸全部实行标准化，这些零件称为标准件，如螺栓、螺母、螺钉、垫圈、键、销等；还可将零件的结构和参数实行部分标准化，称为常用件，如齿轮和蜗轮、蜗杆及弹簧等；还可将标准化的零件装配成部件，组成标准部件，如轴承等。

为便于绘图和读图，对常用机件及其上形状比较复杂的结构要素，不必按其真实投影绘制，而是按照国家标准规定的画法和标记方法进行绘图和标注。

本章将介绍标准件和常用件的基本知识、规定画法、标记和有关标准及查表方法等内容。

8.1 螺　　纹

8.1.1 螺纹的形成和要素

1. 螺纹的形成

螺纹是一平面图形(如三角形、矩形、梯形)绕一圆柱(或圆锥)体作螺旋运动得到的具有相同轴向断面的连续凸起和沟槽。在圆柱外表面上形成的螺纹称为外螺纹，在圆柱(或圆锥)孔内表面上形成的螺纹称为内螺纹。

螺纹的加工方法很多，常见的是在车床上车削内、外螺纹，也可辗压螺纹，还可用钻头和丝锥等手工工具加工螺纹，如图 8.1 所示。

2. 螺纹的要素

螺纹的牙型、直径、线数、螺距、旋向等称为螺纹的要素，内外螺纹配对使用时，上述要素必须一致。

(1) 牙型。沿螺纹轴线剖切时，螺纹牙齿轮廓的剖面形状称为牙型。螺纹的牙型有三

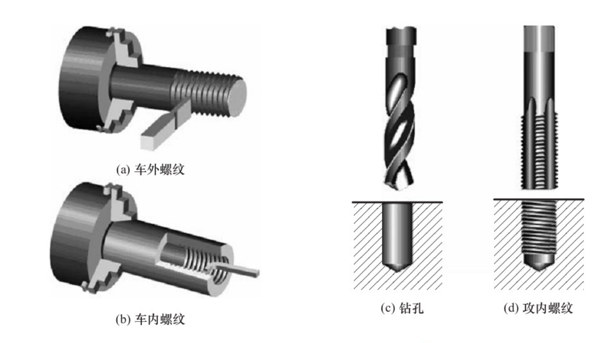


图 8.1　螺纹的加工方法

角形、梯形、锯齿形等，如图 8.2 所示。不同的螺纹牙型有不同的用途。

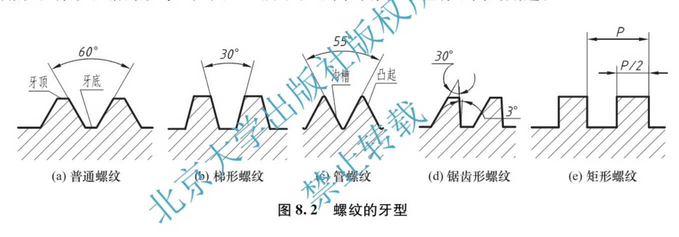


图 8.2　螺纹的牙型

(2) 公称直径。与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相重合的假想圆柱面的直径称为大径(内、外螺纹分别用 D、d 表示)，也称为螺纹的公称直径；与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相重合的假想圆柱面的直径称为小径(内、外螺纹分别用 D_1、d_1 表示)；在大径与小径之间，其母线通过牙型沟槽宽度和凸起宽度相等的假想圆柱面的直径称为中径(内、外螺纹分别用 D_2、d_2 表示)，如图 8.3 所示。

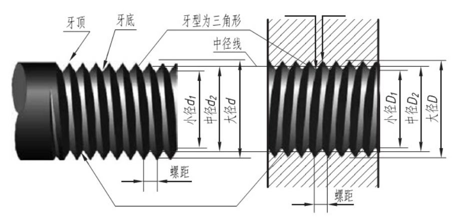


图 8.3　螺纹的直径

(3) 线数(n)。螺纹有单线和多线之分，由一条螺旋线形成的螺纹为单线螺纹；沿轴向等距分布的两条或两条以上的螺旋线所形成的螺纹为多线螺纹，如图 8.4 所示。

(4) 螺距(P)和导程(P_h)。相邻两牙在中径线上对应两点之间的轴向距离称为螺距。同一螺旋线上相邻两牙在中径线上对应两点之间的轴向距离称为导程。导程与螺距的关系为：$P_h = P \times n$。显然，单线螺纹的导程就等于螺距，如图 8.4 所示。

(5) 旋向。螺纹有右旋和左旋之分，按顺时针方向旋进的螺纹称为右旋螺纹，按逆时针方向旋进的螺纹称为左旋螺纹。判别的方法是将螺杆轴线铅垂放置，面对螺纹，若螺纹自左向右升起，则为右旋螺纹，反之则为左旋螺纹，如图 8.5 所示。工程上常用右旋螺纹。

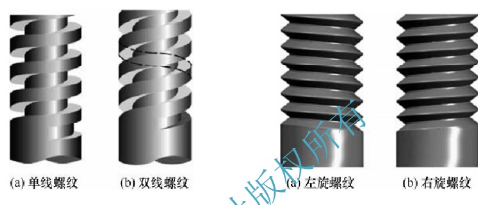


图 8.4　螺纹的线数、螺距和导程　　图 8.5　螺纹的旋向

在螺纹的各要素中，牙型、公称直径和螺距是决定螺纹结构规格最基本的要素，称为螺纹三要素。凡螺纹三要素符合国家标准的称为标准螺纹。仅牙型符合标准，公称直径或螺距不符合标准的螺纹称为特殊螺纹；若牙型也不符合标准的螺纹称为非标准螺纹。

8.1.2　螺纹的规定画法

根据国家标准的规定，在图样上绘制螺纹按规定画法作图，而不必画出真实投影。

1. 外螺纹的画法

在投影为非圆的视图中，螺纹的牙顶(大径)及螺纹终止线用粗实线表示；牙底(小径)用细实线表示(小径近似的画成大径的 0.85 倍)，并画入螺杆的倒角或倒圆部分，在投影为圆的视图中，表示牙底的细实线圆只画约 3/4 圈，此时，螺杆上的倒角或倒圆不应画出，如图 8.6 所示。

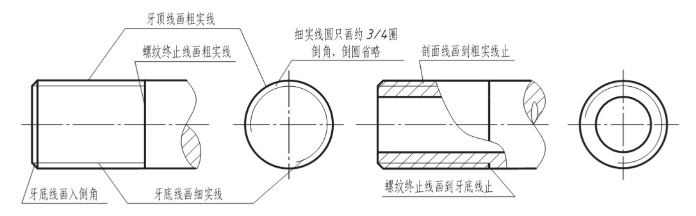
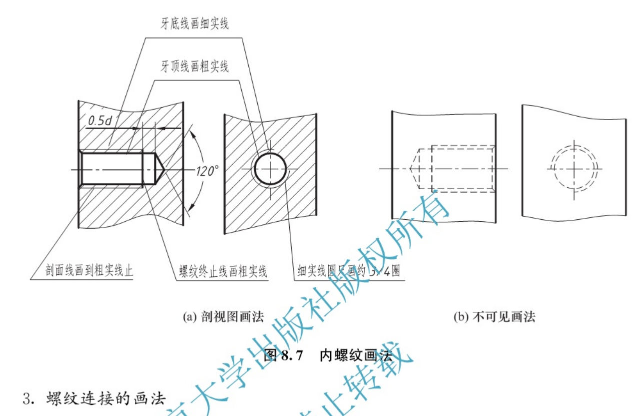


图 8.6　外螺纹画法

2. 内螺纹的画法

内螺纹一般画成剖视图，其牙顶(小径)及螺纹终止线用粗实线表示；牙底(大径)用细实线表示，剖面线画到粗实线为止。不作剖视时，所有图线均用虚线绘制。在投影为圆的视图中，小径圆用粗实线圆表示；大径圆用只画 3/4 圈细实线圆表示，此时，螺孔上的倒角或倒圆不应画出，如图 8.7 所示。



(a) 剖视图画法　　(b) 不可见画法

图 8.7　内螺纹画法

3. 螺纹连接的画法

内、外螺纹旋合在一起时，称为螺纹连接。用剖视图表示一对内外螺纹连接时，其旋合部分应按外螺纹的画法绘制，其余部分仍按各自的画法表示，如图 8.8 所示。绘图时需注意：表示内、外螺纹大、小径的粗细实线必须分别对齐，且与倒角大小无关。

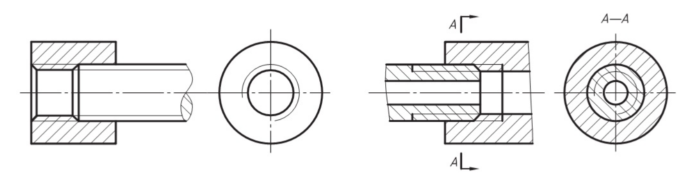


图 8.8　螺纹连接的剖视画法

4. 螺纹牙型的表示法

当需要表示螺纹牙型时，可按图 8.9 中所示的局部剖视图或按图中的局部放大图的形式绘制。

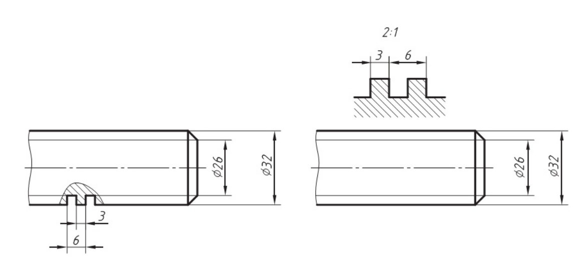
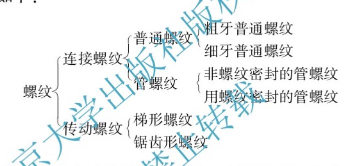


图 8.9　螺纹牙型的表示法

8.1.3　常用螺纹的种类和标注

螺纹按用途可分为连接螺纹和传动螺纹两类，前者起连接作用，后者用于传递动力和运动。常用螺纹分类如下：



螺纹按国家标准的规定画法画出后，图上并未表明牙型、公称直径、螺距、线数和旋向等要素，因此，需要用标注代号或标记的方式来说明。各种常用螺纹的标记方式及示例见表 8-1。

1. 普通螺纹

普通螺纹的直径、螺距可查阅附录附表 1。

普通螺纹的完整标记由螺纹特征代号、尺寸代号、旋向代号、公差带代号、旋合长度代号组成。

普通螺纹的特征代号用“M”表示。

在公称直径相同的条件下，螺距最大的普通螺纹称为粗牙普通螺纹，而其余不是最大螺距的普通螺纹称为细牙普通螺纹。细牙普通螺纹多用于细小的精密零件和薄壁零件上。粗牙普通螺纹的尺寸代号用“公称直径”表示；细牙普通螺纹的尺寸代号用“公称直径×螺距”表示。例如，“M24”表示公称直径为 24 的粗牙普通螺纹；“M20×1.5”表示公称直径为 20mm，螺距为 1.5mm 的细牙普通螺纹。多线时注出 P_h(导程)、P(螺距)。

右旋螺纹不注旋向，左旋时必须注写旋向代号“LH”。

普通螺纹的公差带由表示螺纹公差带大小的公差等级(数字)和表示螺纹公差带位置的基本偏差(外螺纹用小写拉丁字母、内螺纹用大写拉丁字母表示)所组成。

普通螺纹的公差带代号包括中径公差带代号与顶径(指外螺纹大径和内螺纹小径)公差

带代号，中径与顶径公差带代号相同时，只注写一个公差带代号。

普通螺纹的旋合长度按 S(短)、N(中)、L(长)三组旋合长度给出了精密、中等、粗糙三种精度。当螺纹为中等旋合长度时，代号 N 不标注。当特殊需要时，也可注明旋合长度的数值，如“M20×1.5－5g6g－40”。

标注时，在旋向代号、螺纹公差带代号、旋合长度代号之间，用“－”隔开。

例如，“M20×2 LH－6H”表示公称直径为 20mm，螺距为 2mm，左旋的细牙普通螺纹(内螺纹)，中径和小径的公差带皆为 6H，中等旋合长度。

“M10－5g6g－S”表示公称直径为 10mm，右旋的粗牙普通螺纹(外螺纹)，中径公差带为 5g ，大径公差带为 6g，旋合长度属于短的一组。

2. 管螺纹

管螺纹一般用于管路的连接，它们是英寸制的。有非螺纹密封的内、外管螺纹和用螺纹密封的圆柱内管螺纹；还有用螺纹密封的圆锥内、外管螺纹。R_1 表示与圆柱内螺纹相配合的圆锥外螺纹，R_2 表示与圆锥内螺纹相配合的圆锥外螺纹；圆锥内螺纹为“R_c”；圆柱内螺纹为“R_p”。

管螺纹的标记由螺纹特征代号(表 8－1)、尺寸代号和旋向组成，非螺纹密封的外管螺纹还应标注公差等级，等级分 A、B 两种。当螺纹为左旋时，应在最后加注“LH”，并用“－”隔开。尺寸代号是管子的通径大小，而不是指管螺纹大径的大小。55°非螺纹密封的管螺纹的大径、小径和螺距，可由尺寸代号从附录附表 2 中查出。例如，“G1/2A－LH”表示非螺纹密封的左旋内管螺纹，尺寸代号为 1/2 英寸，公差等级 A 级；“R3/4”表示用螺纹密封的右旋圆锥外管螺纹，尺寸代号为 3/4 英寸。

管螺纹一律引出标注，指引线都指到螺纹的大径上。

3. 梯形螺纹

梯形螺纹用来传递双向动力，如机床的丝杠。

梯形螺纹的直径和螺距系列、基本尺寸可查阅附录附表 3。

梯形螺纹的标记由梯形螺纹特征代号、尺寸代号、旋向代号、公差带代号及旋合长度代号所组成。梯形螺纹的螺纹特征代号为“Tr”。多线梯形螺纹的尺寸代号为“公称直径×导程(P 螺距)”，单线梯形螺纹的尺寸代号用“公称直径×螺距”表示。当螺纹为左旋时，需在尺寸代号之后加注“LH ”。梯形螺纹只标注中径公差带代号。梯形螺纹的旋合长度分为中等旋合长度(代号 N)和长旋合长度(代号 L)两组。中等旋合长度时，N 省略不注。

例如，“Tr 40×7－7H”表示公称直径为 40mm，螺距为 7mm 的单线右旋梯形螺纹(内螺纹)；“Tr 40×14(P7)LH－8e－L”表示公称直径为 40mm，导程为 14mm，螺距 7mm 的双线左旋梯形螺纹(外螺纹)，中径公差带代号为 8e，长旋合长度。

4. 锯齿形螺纹

锯齿形螺纹用来传递单向动力，如千斤顶中的螺杆。

锯齿形螺纹的标记与梯形螺纹类同，其标记顺序是：螺纹特征代号 B、公称直径、导程(螺距)或螺距、旋向，中径公差带代号、旋合长度代号(N、L 两种)。单线螺纹，不必注导程，仅注螺距；右旋螺纹则不必注明旋向。例如，“B70×10”表示公称直径为 70mm，

螺距为 10mm 的单线右旋锯齿形螺纹；“B40×10(P5) LH - 7c” 表示公称直径为 40mm，导程为 10mm(螺距为 5mm)的双线左旋梯形螺纹(外螺纹)，中径公差带代号为 7c。

表 8 - 1　常用螺纹的种类和标记示例

螺纹种类		特征代号	标记示例	说明
连接螺纹	普通螺纹	M	M20-6g	粗牙普通螺纹，公称直径 20mm，右旋。螺纹公差带：中径、大径均为 6g。旋合长度属中等的一组
			M20x1.5-7H-L	细牙普通螺纹，公称直径 20mm，螺距为 1.5mm，右旋。螺纹公差带：中径、大径公差带均为 7H。旋合长度属长的一组
	管螺纹	G	G1/2A	55°非密封圆柱外螺纹，尺寸代号 1/2，公差等级为 A 级，右旋，用引出标注
		R_1 或 R_2 Rc Rp	Rc1/2	55°密封的圆锥内螺纹，尺寸代号 1/2，右旋，用引出标注
传动螺纹	梯形螺纹	Tr	Tr40x14(P7)-7H	梯形螺纹，公称直径 40mm 双线螺纹，导程 14mm，螺距 7mm，右旋。螺纹公差带：中径公差带为 7H。旋合长度属中等的一组
	锯齿形螺纹	B	B32x6-7e	锯齿形螺纹，公称直径 32mm，单线螺纹，螺距 6mm，右旋。螺纹公差带：中径公差带为 7e。旋合长度属中等的一组

8.2 螺纹紧固件

螺纹紧固件就是运用一对内外螺纹的连接作用来连接和紧固一些零部件。

常用的螺纹紧固件有螺栓、螺柱(也称双头螺柱)、螺钉、螺母和垫圈等。其结构和尺寸均已标准化，并由有关专业工厂大量生产，使用时按规定标记选用即可。因此，对符合标准的螺纹紧固件，不需再详细画出它们的零件图。表 8－2 为常用螺纹紧固件的标记示例。

表 8－2　常用螺纹紧固件的标记示例

名　称	图　例	规定标记示例
六角头螺栓		螺栓(GB/T 5782—2000) M12×50
双头螺柱		螺柱(GB/T 898—1988) M10×50
开槽沉头螺钉		螺钉(GB/T 68—2000) M10×60
1 型六角螺母		螺母(GB/T 6170—2000) M12
平垫圈		垫圈(GB/T 97.1—2002) 16－140HV

8.2.1　螺栓连接

螺栓连接由螺栓、螺母、垫圈等组成，用于连接两个不太厚并能钻成通孔的零件。螺栓连接是一种可拆卸的紧固方式。

螺栓连接的画法如图 8.10 所示。图 8.10(a)画出了连接前的情况，被连接的两块板上钻有直径比螺栓大径略大的孔(孔径≈1.1d)，以便装配。连接时，先将螺栓穿入被连接的两零件上的通孔中，一般以螺栓的头部抵住被连接板的下端面，然后在螺栓上部套上垫圈，以增加支撑面积和防止损伤零件的表面，最后用螺母拧紧，如图 8.10(b)所示；也可以采用图 8.10(c)所示的简化画法，其中，螺栓头部和螺母的倒角都省略不画，在装配图中常用这种画法。

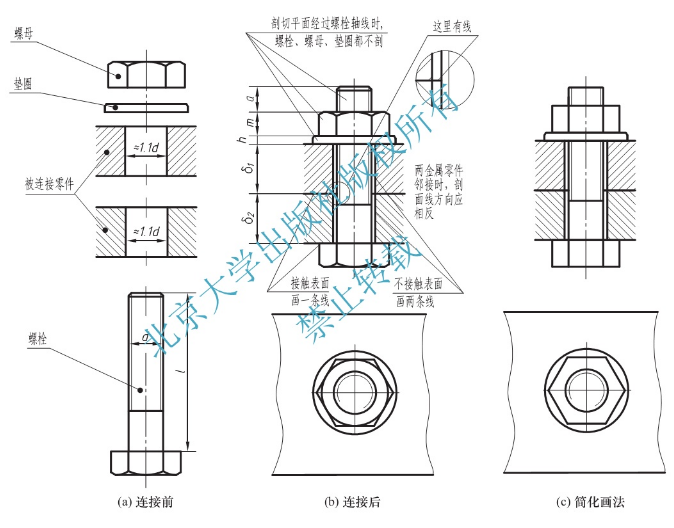


图 8.10　螺栓连接的画法

从上述的螺纹紧固件的装配图中可以看出，画装配图应遵守下述基本规定。

(1) 在装配图中，两零件的接触面只画一条线，非接触面画两条线；

(2) 在剖视图中，相邻的两零件的剖面线方向应相反，或方向一致但间隔不等；

(3) 对于紧固件和实心零件(如螺栓、螺柱、螺钉、螺母、垫圈、键、销及轴等)，当剖切平面通过它们的轴线时，则这些零件均按未剖切绘制，仍画外形；需要时，可采用局部剖视。

螺栓的公称长度 l，由垫圈、螺母的厚度 h、m，再加上被连接零件的厚度 δ_1、δ_2 等，经计算后选定。由图 8.10 可知：

$$螺栓长度\ l=\delta_1+\delta_2+h+m+a$$

其中，$h=0.15d$，$m=0.8d$，a 是螺栓伸出螺母的长度，一般可取 $0.3d$ 左右（d 是螺栓的螺纹规格，即公称直径），上式计算得出数值后，应从相应的螺栓标准所规定的长度系列中，选取合适的 l 值。

8.2.2 螺钉连接

螺钉按用途可分为连接螺钉和紧定螺钉两种。螺钉连接一般用在不经常拆卸且受力不大的地方。紧定螺钉用来固定两个零件的相对位置，使它们不产生相对运动。

螺钉连接时，通常在较厚的零件上制出螺孔，另一零件上加工出通孔，通孔的直径应比螺钉的大径稍大（孔径≈$1.1d$），以便装配。连接时，将螺钉穿过通孔旋入螺孔拧紧即可。螺钉的螺纹终止线应在螺孔顶面以上；螺钉头部的一字槽在端视图中应画成45°方向，如图8.11所示。

螺钉的种类很多，各种螺钉的形式、尺寸及其标记，可查阅附录附表6～附表8的有关标准。

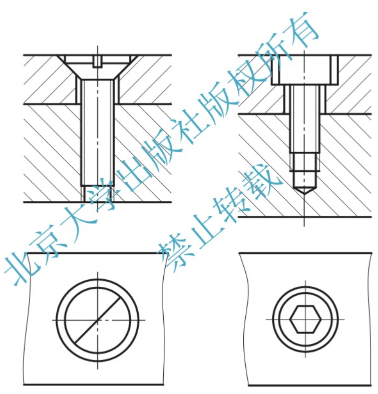
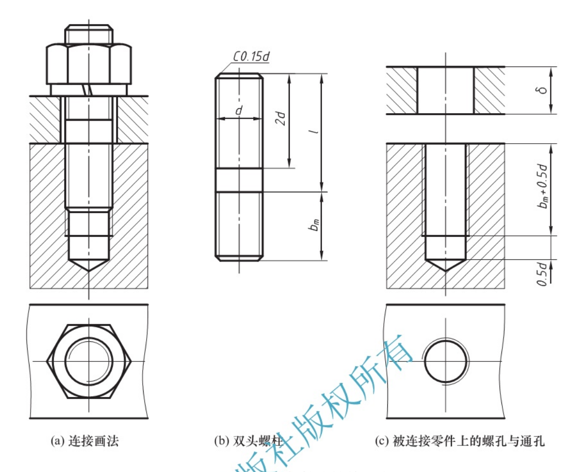


图8.11　螺钉连接的画法

8.2.3 螺柱连接

螺柱连接由螺柱、螺母、弹簧垫圈等组成。当被连接的两个零件中有一个较厚，不易钻成通孔时，可制成螺孔，采用双头螺柱连接。

螺柱连接画法如图8.12所示。先在较薄的零件上钻孔（孔径≈$1.1d$），并在较厚的零件上制出螺孔。双头螺柱的两端都制有螺纹，一端旋入较厚零件的螺孔中，称为旋入端；另一端穿过较薄零件上的通孔，套上垫圈，再用螺母拧紧，称为紧固端。从图8.12可以看出：双头螺柱连接的上半部与螺栓连接相似，而下半部则与螺钉连接相似。画图时要注意旋入端应完全旋入螺孔中，旋入端的螺纹终止线应与两个被连接零件接触面平齐。

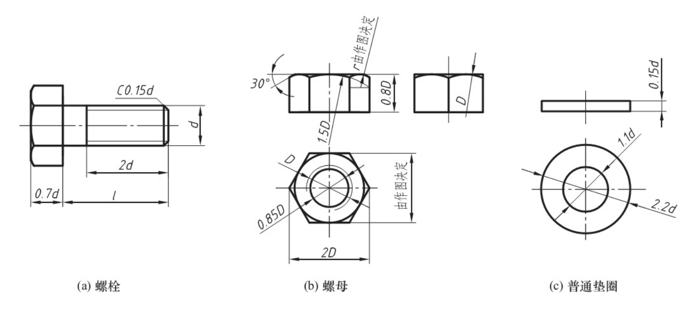


(a) 连接画法　　(b) 双头螺柱　　(c) 被连接零件上的螺孔与通孔

图 8.12　双头螺柱连接的画法

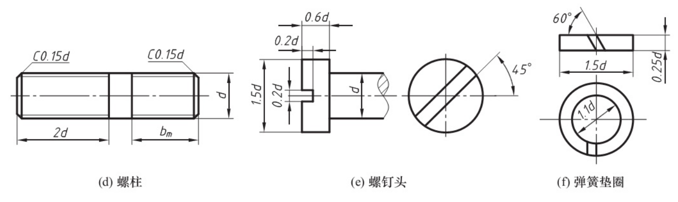
8.2.4　螺纹紧固件的比例画法

单个螺纹紧固件的画法可根据公称直径查阅附录附表 10～附表 11 或有关标准，得出各部分的尺寸。但在绘制螺纹紧固件时，通常按螺栓的螺纹规格 d、螺母的螺纹规格 D、垫圈的公称尺寸 d 进行比例折算，得出各部分尺寸后按比例画法画出，如图 8.13 所示。



(a) 螺栓　　(b) 螺母　　(c) 普通垫圈

图 8.13　常用螺纹紧固件的比例画法



(d) 螺柱　　(e) 螺钉头　　(f) 弹簧垫圈

图 8.13　常用螺纹紧固件的比例画法(续)

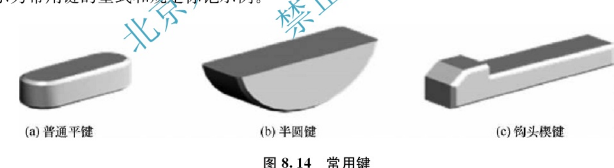
8.3　键、销、滚动轴承

8.3.1　键连接

键是标准件，用来实现轴上零件的周向固定，借以传递扭矩。

1. 常用键的种类与标记

键的种类很多，常用的键有普通平键、半圆键和钩头楔键等，如图 8.14 所示。其中普通平键应用最广，分为圆头普通平键(A 型)、方头普通平键(B 型)和单圆头普通平键(C 型)三种型式。常用的普通平键的结构型式和尺寸可按轴颈查阅附录附表 12 得出。表 8-3 所示为常用键的型式和规定标记示例。



(a) 普通平键　　(b) 半圆键　　(c) 钩头楔键

图 8.14　常用键

表 8-3　常用键的型式和标记示例

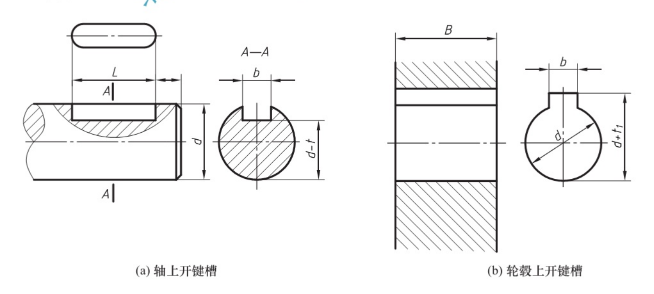
名　称	型　式	标 记 示 例
普通平键	nx45°或r h R=0.5b b L	$b=18$，$h=11$，$L=100$ 的 A 型圆头 普通平键(GB/T 1096—2003)的标记： 键 18×100 $b=18$，$h=11$，$L=100$ 的 B 型方头普通平键的标记： 键 B　18×100　(GB 1096—2003)

（续）

名　　称	型　　式	标 记 示 例
半圆键	b　h　d1　nx45°或 r	$b=6$，$h=11$，$d_1=25$，$L=24.5$ 的半圆键（GB/T 1099.1—2003）的标记：键 6×25
钩头楔键	45°　1:100　b　h1　h　b　L	$b=18$，$h=11$，$L=100$ 的钩头楔键（GB/T 1565—2003）的标记：键 18×100

2. 键槽的画法及尺寸标注

为与键配合，应在轴和轮毂上加工键槽，键槽的宽度 b、轴上的槽深 t 和轮毂上的槽深 t_1 都可按轴径 d 由附录附表 12 查出；键的长度 L 应根据设计要求按键槽的宽度 b 由附录的长度系列选定，其长度 L 应小于或等于轮毂的长度 B，它们的画法及尺寸标注方法如图 8.15 所示。



(a) 轴上开键槽　　(b) 轮毂上开键槽

图 8.15　轴、轮毂上键槽的画法及尺寸标注

3. 平键连接的画法

平键连接的画法如图 8.16 所示。

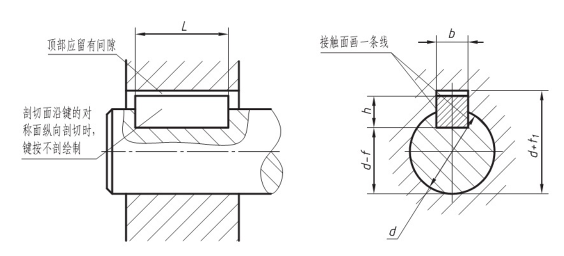


图 8.16　平键连接的画法

8.3.2　销连接

销是标准件，通常用于零件间的连接和定位。常用的销有圆柱销、圆锥销和开口销等。表 8-4 所示为常用销的型式和标记示例。圆柱销和圆锥销的型式、尺寸和标记可查阅附录附表 13。开口销用在带孔螺栓和带槽螺母上，将其插入槽形螺母的槽口和带孔螺栓的孔中，并将销的尾部叉开，以防止螺母与螺栓松脱。开口销的型式、尺寸和标记可查阅附录附表 14。销连接的画法如图 8.17 所示。

表 8-4　常用销的型式和标记示例

名　　称	型　　式	标 记 示 例
圆柱销		销(GB/T 119.1—2000)$d \times L$
圆锥销		销(GB/T 117—2000)A$d \times L$
开口销		销(GB/T 91—2000)$d \times L$

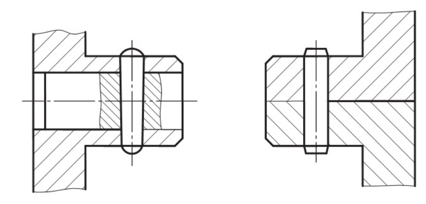


图 8.17　销连接的画法

8.3.3　滚动轴承

滚动轴承是支承轴的一种标准部件。由于具有结构紧凑、摩擦力小，效率高等优点，因而得到广泛应用。这里我们只介绍三种常用的滚动轴承，其型式与尺寸可查阅附录附表 15～附表 17。

1. 滚动轴承的结构及其画法

滚动轴承种类很多，但其结构大体相同，现以图 8.18(a)所示的深沟球轴承为例说明，较多的滚动轴承由内圈、外圈、滚动体及隔离圈(或保持架)组成，通常外圈装在机座的孔内，固定不动，而内圈套在转动的轴上，随轴转动。

滚动轴承是标准部件，使用时必须按要求选用。当需要画滚动轴承的图形时，可根据国家标准 GB/T 4459.7—1998《机械制图 滚动轴承表示法》规定，采用通用画法(图 8.18(b)、(c))特征画法或规定画法绘制(表 8-5)。

表 8-5　常用滚动轴承的画法及尺寸比例示例

轴承类型及国标号	结构形式	规定画法	特征画法	用途
深沟球轴承 (GB/T 276—1994) 6000 型		B, B/2, A/2, A, A/2, 60°, d, D	B, B/6, 2B/3, A, d, D	主要承受径向力

（续）

轴承类型及国标号	结构形式	规定画法	特征画法	用途
圆锥滚子轴承（GB/T 297—1994）30000 型				可同时承受径向力和轴向力
推力球轴承（GB/T 28697—2012）51000 型				承受单方向的轴向力

在剖视图中，当不需要确切地表示滚动轴承的外形轮廓、载荷特性、结构特征时，可采用通用画法，即用矩形线框及位于线框中央正立的、不与矩形线框接触的十字符号表示，如图 8.18(b)所示；滚动轴承与轴装配在一起时，在轴的两侧以同样方式画出，如图 8.18(c)所示。

2. 滚动轴承的代号和标记

滚动轴承代号是由字母加数字来表示滚动轴承的结构、尺寸、公差等级、技术性能等特征的产品符号，它由基本代号、前置代号和后置代号构成，其排列方式如下。

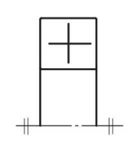
基本代号 前置代号 后置代号

基本代号表示轴承的基本类型、结构和尺寸，是轴承代号的基础。基本代号从左向右依次由轴承类型代号、尺寸系列代号、内径代号构成。

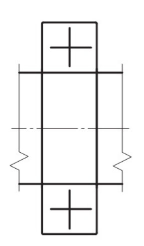
轴承类型代号用数字或字母表示，见表 8-6。



(a) 结构示例



(b) 单个轴承



(c) 轴承与轴装配在一起

图 8.18　滚动轴承的结构和通用画法示例

表 8-6　滚动轴承类型代号(摘自 GB/T 272—1993)

代号	轴承类型	代号	轴承类型	代号	轴承类型
0	双列角接触球轴承	4	双列深沟球轴承	8	推力圆柱滚子轴承
1	调心球轴承	5	推力球轴承	N	圆柱滚子轴承
2	调心滚子轴承和 推力调心滚子轴承	6	深沟球轴承	U	外球面球轴承
3	圆锥滚子轴承	7	角接触球轴承	QJ	四点接触球轴承

尺寸系列代号由轴承的宽(高)度系列代号和直径系列代号组合而成，用两位阿拉伯数字来表示。它的主要作用是区别内径相同而宽度和外径不同的轴承。具体代号需查阅相关标准。

内径代号表示轴承的公称内径，一般用两位阿拉伯数字表示。代号数字为 00，01，02，03 时，分别表示轴承内径 d=10mm，12mm，15mm，17mm；代号数字为 04～96 时，代号数字乘 5 即为轴承内径；轴承公称内径为 1～9mm 时，用公称内径毫米数直接表示；轴承公称内径为 22mm，28mm，32mm，500mm 或大于 500mm 时，用公称内径毫米数直接表示，但与尺寸系列代号之间用 "/" 分开。

例如，基本代号 6208，其中 "08" 为内径代号， "2" 为尺寸代号(完整尺寸代号为 02)，"6" 为轴承类型代号，表示 d=40mm，宽度系列代号为 0(省略)，直径系列代号为 2 的深沟球轴承；基本代号 62/22 表示内径 d=22mm，宽度系列代号为 0，直径系列代号为 2 的深沟球轴承；基本代号 30312 表示内径 d=60mm，宽度系列代号为 0，直径系列代号为 3 的圆锥滚子轴承；基本代号 51310 表示内径 d=50mm，高度系列代号为 1，直径系列代号为 3 的推力球轴承。

前置代号用字母表示，后置代号用字母(或加数字)表示。前置、后置代号是轴承在结构形状、尺寸、公差、技术要求等有改变时，在其基本代号左右添加的代号。

例如，轴承代号 "K81107" 中 "K" 为前置代号， "81107" 为基本代号；轴承代号 "6210NR" 中 "6210" 为基本代号，"NR" 为后置代号。

前置代号和后置代号的含义及标注方式，查阅 GB/T 272—1993《滚动轴承 代号方法》。

8.4　齿　　轮

齿轮是广泛应用于机器或部件中的传动零件，不仅可以用来传递动力，还能改变转速和转向。齿轮的参数中只有模数、压力角已经标准化，因此它属于常用件。

图 8.19 表示三种常见的齿轮传动形式。圆柱齿轮通常用于平行两轴之间的传动；锥齿轮用于相交两轴之间的传动；蜗杆与蜗轮则用于交叉两轴之间的传动。



(a) 圆柱齿轮　(b) 锥齿轮　(c) 蜗杆与蜗轮

图 8.19　常见的齿轮传动

本书仅介绍圆柱齿轮的画法，锥齿轮、蜗轮蜗杆的画法可查阅 GB/T 4459.2—2003《机械制图 齿轮表示法》，圆柱齿轮的轮齿有直齿、斜齿和人字齿等，下面主要介绍直齿圆柱齿轮的结构要素和规定画法。

8.4.1　标准直齿圆柱齿轮的基本参数和基本尺寸间的关系

1．齿轮的基本参数和基本尺寸的名称

直齿圆柱齿轮的基本参数和各部分名称如图 8.20 所示。

(1) 齿顶圆。齿轮的齿顶圆柱面与端平面(垂直于齿轮轴线的平面)的交线称为齿顶圆，其直径用 d_a 表示。

(2) 齿根圆。齿轮的齿根圆柱面与端平面的交线称为齿根圆，其直径用 d_f 表示。

(3) 分度圆。在齿顶圆和齿根圆之间，取一个设计和制造时作为计算齿轮各部分几何尺寸的基准圆称为分度圆，其直径用 d 表示。

(4) 节圆、中心距与压力角。当一对齿轮啮合时，齿廓在连心线 O_1O_2 上的接触点 P 称为节点。分别以 O_1O_2 为圆心，O_1P、O_2P 为半径作两个相切的圆，称为节圆，其直径用 d_1、d_2 表示。对于标准齿轮来说，节圆和分度圆是重合的。连接两齿轮中心的连线 O_1O_2 称为中心距，用 a 表示。在节点 P 处，两齿廓曲线的公法线(即齿廓的受力方向)与两节圆的内公切线(即节点 P 处的瞬时运动方向)所夹的锐角，称为齿形角，又称为压力角，中国标准压力角为 20°。

(5) 齿高、齿顶高、齿根高。齿顶圆与齿根圆之间的径向距离称为全齿高，用 h 表示；齿顶圆与分度圆之间的径向距离称为齿顶高，用 h_a 表示；分度圆与齿根圆之间的径

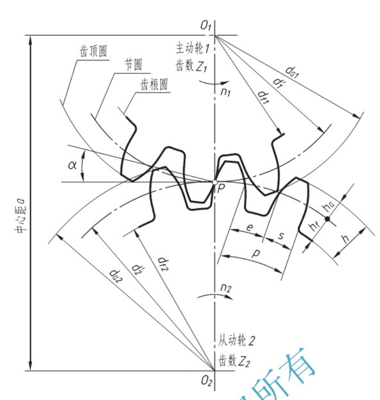


图 8.20　啮合的圆柱齿轮示意图

向距离称为齿根高，用 h_f表示；$h=h_a+h_f$。

（6）齿距、齿厚、槽宽。相邻两个轮齿同侧齿廓对应点之间在分度圆上的弧长称为齿距，用 P 表示；每个齿轮齿廓在分度圆上的弧长称为齿厚，用 S 表示；每个齿槽在分度圆上的弧长称为槽宽，用 e 表示。对于标准齿轮来说，齿厚为齿距的一半，即 $S=P/2$。

（7）模数。以 z 表示齿轮的齿数，那么，分度圆周长$=\pi d=zP$，也就是 $d=P/\pi z$。令 $P/\pi=m$，则 $d=mz$。这里，m 就是齿轮的模数，它等于齿距 P 与 π 的比值，单位为 mm。因为两啮合齿轮的齿距 P 必须相等，所以它们的模数也必须相等。

模数 m 是设计和制造齿轮的重要参数，它代表了轮齿的大小，模数大，则齿距 P 也增大，随之齿厚 S 也增大，因而齿轮的承载能力大。不同模数的齿轮，要用不同的刀具来加工制造，为便于设计和加工，国家规定了统一的标准模数系列，见表 8－7。

表 8－7　齿轮模数系列(GB/T 1357—2008)

第一系列	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6
	8	10	12	16	20	25	32	40	50
第二系列	1.75	2.25	2.75	(3.25)	3.5	(3.75)	4.5	5.5	(6.5)
	7	9	(11)	14	18	22	28	36	45

2. 齿轮基本尺寸的计算

当标准直齿轮的基本参数确定后，其他基本尺寸就可用公式计算，见表 8－8。

表 8－8　标准渐开线直齿圆柱齿轮基本尺寸计算公式

名称	代号	计算公式
齿顶高	h_a	$h_a=m$
齿根高	h_f	$h_f=1.25m$
全齿高	h	$h=2.25m$

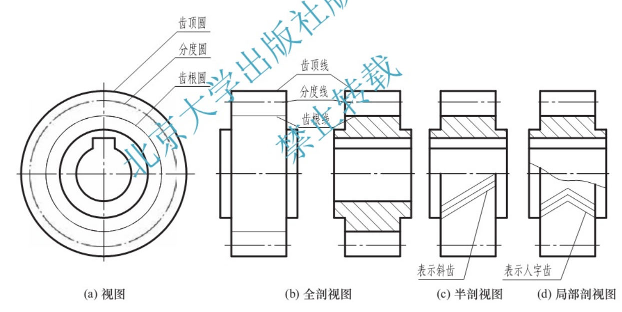
（续）

名称	代号	计算公式
分度圆直径	d	$d=mz$
齿顶圆直径	d_a	$d_a=m(z+2)$
齿根圆直径	d_f	$d_f=m(z-2.5)$
中心距	a	$a=(d_1+d_2)/2$ $=m(z_1+z_2)/2$

8.4.2　圆柱齿轮的规定画法

1. 单个圆柱齿轮的画法

根据 GB/T 4459.2—2003《机械制图 齿轮表示法》规定的齿轮画法，单个齿轮一般用两个视图表示，轮齿部分一般按规定画法绘制：齿顶圆和齿顶线用粗实线绘制；分度圆和分度线用细点画线绘制；齿根圆和齿根线用细实线绘制，也可省略不画；在剖视图中，齿根线用粗实线绘制；在剖视图中，当剖切平面通过齿轮的轴线时，轮齿一律按不剖处理；当需要表示斜齿与人字齿的齿线的形状时，可用三条与齿线方向一致的细实线表示，直齿则不需表示。轮齿以外的部分按投影关系正常绘制，如图 8.21 所示。



(a) 视图　(b) 全剖视图　(c) 半剖视图　(d) 局部剖视图

图 8.21　单个圆柱齿轮的规定画法

2. 圆柱齿轮的啮合画法

两齿轮的啮合画法，关键是啮合区的规定画法，其他部分仍按单个齿轮的规定画法绘制。啮合区的规定画法是：在平行于齿轮轴线的非圆投影的剖视图中，当剖切平面通过两啮合齿轮的轴线时，将一个齿轮的齿顶线用粗实线绘制，另一个齿轮的轮齿被遮挡的齿顶线用虚线绘制；两轮分度线重合，画细点画线，齿根线画粗实线，如图 8.22(a)所示。在垂直于齿轮轴线投影为圆的视图中，两齿轮的分度圆相切，用细点画线绘出。啮合区内的齿顶圆均用粗实线绘制，如图 8.22(b)所示，也可以省略不画，如图 8.22(c)所示。在平行于齿轮轴线的投影平面的外形视图中，啮合区的齿顶线和齿根线不必画出，节线画成粗实线，如图 8.22(d)所示。

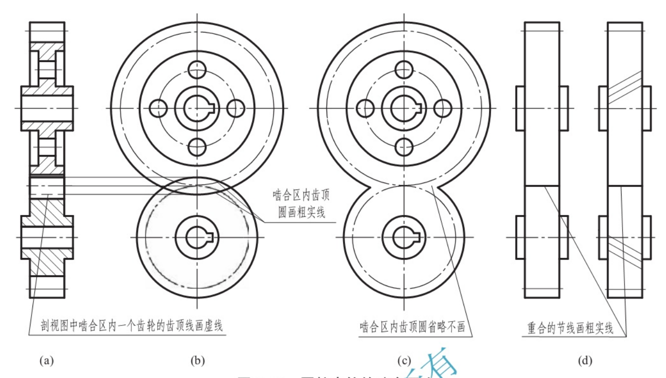


图 8.22　圆柱齿轮的啮合画法

3. 直齿圆柱齿轮的零件图

图 8.23 所示是一个圆柱齿轮的零件图。它的内容包括一组视图，如图中为全剖视的主视图和轮孔的局部视图；一组完整的尺寸；必要的技术要求，如尺寸公差、表面粗糙度、热处理(这些内容将在第 8 章中作简要介绍)和制造齿轮所需要的基本参数(其中大部分项目将在后续的机械零件等有关课程中叙述)。

模数	m	1.5
齿数	Z	34
齿形角	α	20°
精度等级		8-7-7HK
齿圈径向跳动	F_r	0.063
公法线长度公差	F_W	0.028
基节极限偏差	f_{pt}	0.013
齿形公差	f_f	0.011
公法线检验	长度	16.12
	允差	$^{-0.112}_{-0.168}$
跨齿数	n	4

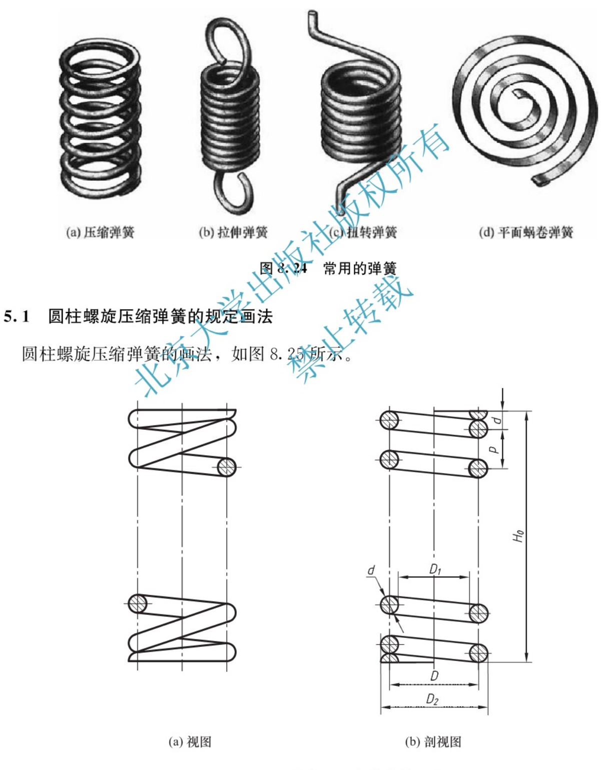
Ra 3.2　Ra 1.6　R1　Ra 3.2　$6^{+0.025}_{0}$　$\phi54^{0}_{-0.2}$　$\phi51$　$\phi28^{+0.21}_{0}$　$\phi40$　$30.6^{+0.14}_{0}$　Ra 3.2　20　$30^{-0.08}_{-0.025}$　Ra 12.5 (√)　0.01　A

设计			40Cr	长春大学光华学院
校核			比例　1:1.5	齿轮
审核				
班级		学号	共 8 张　第 7 张	08-01

图 8.23　圆柱齿轮零件图示例

8.5　弹　　簧

弹簧是用途广泛的常用零件，主要用于减震、夹紧、储存能量和测力等方面。弹簧的特点是去掉外力后，能立即恢复原状。弹簧的种类很多，如图 8.24 所示。本节仅介绍圆柱螺旋压缩弹簧的尺寸计算和画法。圆柱螺旋压缩弹簧的尺寸及参数可查阅附录附表 18。



(a) 压缩弹簧　(b) 拉伸弹簧　(c) 扭转弹簧　(d) 平面蜗卷弹簧

图 8.24　常用的弹簧

8.5.1　圆柱螺旋压缩弹簧的规定画法

圆柱螺旋压缩弹簧的画法，如图 8.25 所示。

(a) 视图　(b) 剖视图

图 8.25　圆柱螺旋压缩弹簧的画法

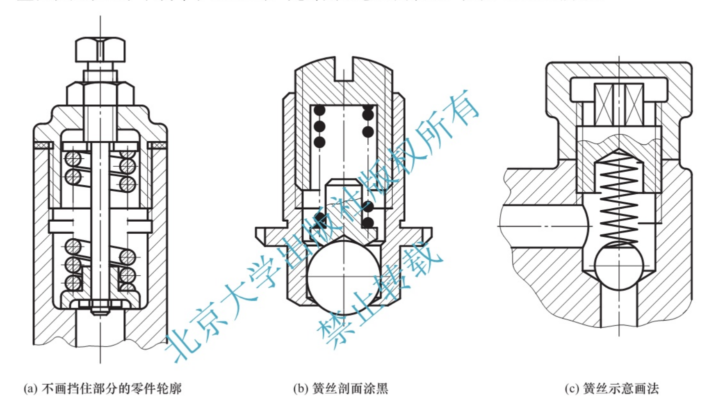
(1) 在平行于弹簧轴线的投影面上的视图中，其各圈的轮廓应画成直线，如图 8.25(a)所示。常采用通过轴线的全剖视，如图 8.25(b)所示。

(2) 有效圈数在四圈以上的螺旋弹簧，中间各圈可省略不画。当中间部分省略后，可适当缩短图形的长度，如图 8.25 所示。

(3) 在图样上，螺旋弹簧均可画成右旋，对必须保证的旋向要求应在“技术要求”注明。

(4) 在装配图中，被弹簧挡住的结构一般不画出，可见部分用从弹簧的外轮廓线或从弹簧钢丝剖面的中心线画起，如图 8.26(a)所示。

(5) 在装配图中，当弹簧被剖切时，断面可以涂黑表示，如图 8.26(b)所示；如簧丝直径在图形上小于或等于 2mm 时，允许用示意画法表示，如图 8.26(c)所示。



(a) 不画挡住部分的零件轮廓　　(b) 簧丝剖面涂黑　　(c) 簧丝示意画法

图 8.26　圆柱螺旋压缩弹簧在装配图中的画法

8.5.2　圆柱螺旋压缩弹簧各部分名称及尺寸关系

(1) 直径 d。弹簧钢丝直径称为簧丝直径，也称线径，用 d 表示；弹簧的平均直径称为弹簧中径，用 D 表示；弹簧的最小直径称为弹簧内径，用 D_1 表示，$D_1=D-d$；弹簧的最大直径称为弹簧外径，用 D_2 表示，$D_2=D+d$；

(2) 节距 t。除支承圈外，相邻两圈的轴向距离用 t 表示。

(3) 有效圈数 n、支承圈数 n_2 和总圈数 n_1。为了使螺旋压缩弹簧工作时受力均匀，增加弹簧的平稳性，将弹簧的两端并紧、磨平。这部分圈数主要起支承作用，称为支承圈，两端的支撑圈数之和，就是支撑圈数(n_2)，支承圈数有 1.5、2 和 2.5 圈三种形式，如图 8.24(a)所示的弹簧，两端各有 $1\frac{1}{4}$ 圈为支承圈，即 $n_2=2.5$；保持相等节距的圈数，称为有效圈数(n)；有效圈数与支承圈数之和称为总圈数(n_1)。由此可知：总圈数＝有效圈数＋支撑圈数，即 $n_1=n+n_2$。

(4) 自由高度 H_0。弹簧在不受外力作用时的高度(长度)，称为自由高度，$H_0=nt+(n_2-0.5)d$，当支承圈数 n_2 为 1.5、2、2.5 时，H_0 分别为 $nt+d$、$nt+1.5d$、$nt+2d$。

(5) 展开长度 L。制造弹簧时坯料的长度，$L\approx n_1\sqrt{(\pi D)^2+t^2}$ 。

8.5.3　螺旋压缩弹簧画法举例

对于两端并紧、磨平的压缩弹簧，不论支承圈的圈数多少和端部并紧情况如何，都可按图 8.25(b)所示的形式画出，即按支承圈数为 2.5 的形式表达。

【例 8-1】　已知弹簧外径 $D=45$mm，簧丝直径 $d=5$mm，节距 $t=10$mm，有效圈数 $n=8$，支承圈数 $n_2=2.5$，右旋，试画出这个弹簧。

解：先进行计算，然后作图。

弹簧中径 $D=D_2-d=40$mm

自由高度 $H_0=nt+(n_2-0.5)d=8\times10+(2.5-0.5)\times5=90$mm

画图步骤如图 8.27 所示。

(1) 以自由高度 H_0 和弹簧中径 D 作矩形，画出支承圈部分与簧丝直径相等的圆和半圆，如图 8.27(a)所示。

(2) 根据节距 t 作簧丝断面，如图 8.27(b)所示。

(3) 按右旋方向作簧丝断面的切线，校核，按要求加深图线，画剖面线，如图 8.27(c)所示。

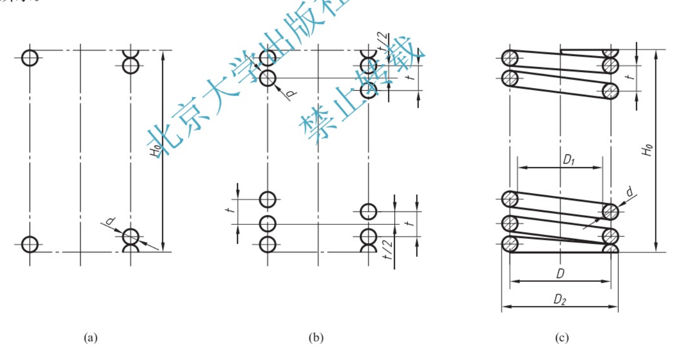


图 8.27　圆柱螺旋弹簧的画图步骤

8.5.4　螺旋压缩弹簧零件图示例

图 8.28 所示是一个圆柱螺旋压缩弹簧的零件图，在轴线水平放置的弹簧主视图上，注出了完整的尺寸和尺寸公差、形位公差；同时，用文字叙述技术要求，并在零件图上方用图解表示弹簧受力时的压缩长度。

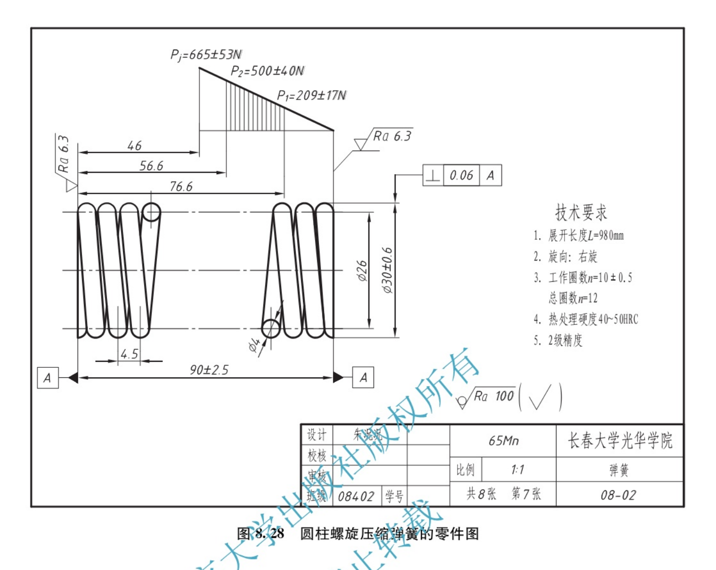


图 8.28　圆柱螺旋压缩弹簧的零件图

复习思考题

1. 螺纹的要素有哪几个？试述螺纹的规定画法(包括内、外螺纹及其旋合)。
2. 常用的螺纹有哪几种？如何标注？
3. 简述键的种类、标记及适用场合。
4. 试述滚动轴承的代号含义及标记方法。
5. 标准直齿圆柱齿轮的基本参数有哪些？如何根据这些参数计算齿轮的几何尺寸。
6. 试述圆柱齿轮的规定画法。
7. 试述圆柱螺旋压缩弹簧的规定画法。

第9章 零件图

任何机器或部件都是由零件装配而成的，零件工作图(简称零件图)是表达零件的结构形状、尺寸大小和技术要求的图样，零件图是生产中指导制造和检验该零件的主要图样，它不仅应将零件的材料，内、外结构形状和大小表达清楚，而且还要对零件的加工、检验、测量等提供必要的技术要求。

9.1 零件图的内容

以图 9.1 所示的阀芯零件图为例，说明零件图应包含下列内容。

(1) 一组视图。用一组视图(用第 7 章机件的表达方法中所讲述的各种表达方法)完整、清晰地表达出零件内、外形状和结构。如图 9.1 所示的阀芯，用了一个主视的全剖、左视的局部将这个阀芯的内外结构清楚地表达出来。

(2) 完整的尺寸。零件图中应正确、完整、清晰、合理地注出制造、检验零件所需的全部尺寸。如图 9.1 所示阀芯的主视图中标注的尺寸 $S\varnothing 40$ 和 32 确定了阀芯的轮廓形状，中间的通孔为$\varnothing 20$，上部凹槽的形状和位置通过主视图中尺寸 10 和左视图中尺寸 $R34$、14 确定。

(3) 技术要求。零件图中必须用规定的代号、数字和文字简明地表示出在制造和检验零件时所应达到的技术要求。如图 9.1 中注出的表面粗糙度 $Ra6.3\mu m$ 等，以及感应加热淬火(50～55)HRC 和去毛刺、锐边的说明。

(4) 标题栏。在零件图右下角，用标题栏标明该零件名称、数量、材料、比例、图号，以及设计、制图、校核人员签名等。

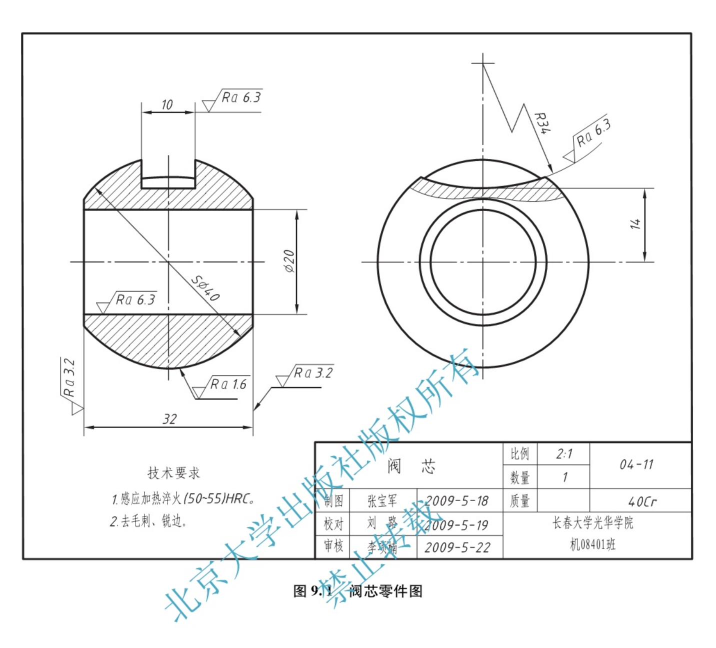


图 9.1　阀芯零件图

9.2　零件结构的工艺性简介

零件的结构形状，主要是由它在部件(或机器)中的作用决定的。但是，制造工艺对零件的结构也有某些要求。因此，画零件图时，应该使零件的结构既能满足使用上的要求，又要方便制造。本节介绍一些常见的工艺结构，供画图时参考。

9.2.1　铸造零件的工艺结构

1. 起模斜度

用铸造的方法制造零件毛坯时，为了便于在砂型中取出模样，一般沿模样起模方向将其设计出一定的斜度，称为起模斜度，如图 9.2(a)所示。这种斜度在图上可以不予标注，也不一定画出，如图 9.2(b)所示；必要时，可以在技术要求中用文字说明。

起模斜度的大小：木模常为 1°～3°；金属模用手工造型时为 1°～2°，用机械造型时为 0.5°～1°。对于无起模的熔铸法，无需起模，故铸件上无起模斜度。

2. 铸造圆角

为防止浇铸熔液时将砂型转角处冲坏，避免铸件在冷却时产生裂缝或缩孔，同时又能方便起模，在铸件毛坯各表面的相交处都设计成圆角，一般称铸造圆角或圆角，如图 9.2(b)所示。铸造圆角在图上一般不予标注，常常集中注写在技术要求中。图 9.2(c)所示的铸件毛坯的底面，经过切削加工后，铸造圆角被削平，此时不能再画出圆角。

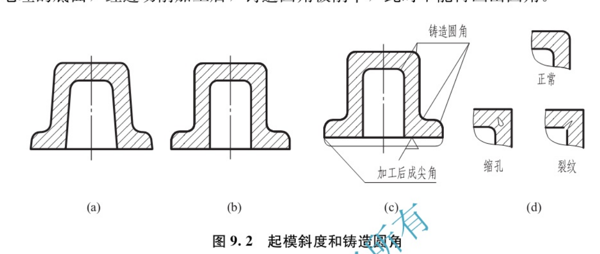


图 9.2　起模斜度和铸造圆角

3. 铸件壁厚

在浇铸零件时，为了避免各部分冷却速度的不同而产生缩孔或裂缝，铸件壁厚应保持大致相等或逐渐变化，如图 9.3 所示。

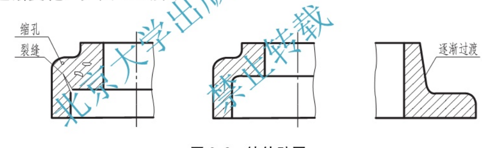


图 9.3　铸件壁厚

4. 过渡线

由于铸件上圆角、起模斜度的存在，使得铸件上的形体表面交线不十分明显，这种线称为过渡线。过渡线的画法和相贯线的画法一样，按没有圆角的情况求出相贯线的投影，画到理论上的交点处为止，过渡线应用细实线绘制，如图 9.4 所示。

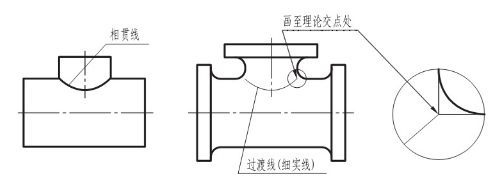


图 9.4　过渡线的画法

9.2.2　零件上的机械加工工艺结构

1. 倒角和倒圆

如图 9.5 所示，为了去除零件的毛刺、锐边，便于装配和保护装配面，轴或孔的端部一般都加工成倒角；为了避免因应力集中而产生裂纹，轴肩处往往加工成圆角的过渡形式，称为倒圆。倒角和倒圆的尺寸系列可查阅附录附表 23。

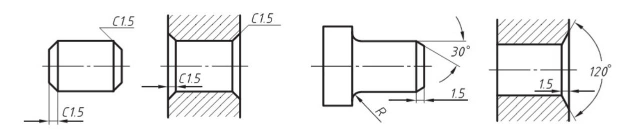


图 9.5　倒角和倒圆

2. 退刀槽和砂轮越程槽

在切削加工中，特别是在车螺纹和磨削时，为了便于退出刀具以及在装配时与相邻零件保证靠紧，常常在零件的待加工表面的台肩处预先加工出退刀槽或砂轮越程槽，如图 9.6 所示。砂轮越程槽的结构尺寸系列可查阅附录附表 24。

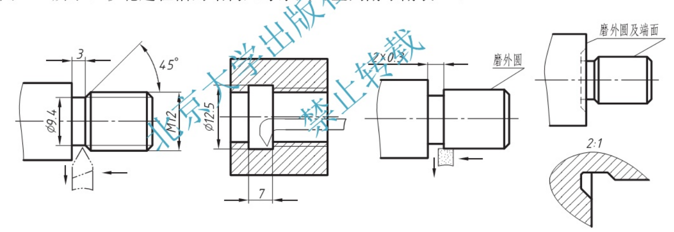


图 9.6　退刀槽和砂轮越程槽

3. 钻孔结构

用钻头钻出的盲孔，在孔的末端有一个 120°的锥角，在阶梯形钻孔的过渡处也存在锥角 120°的圆台。钻孔深度指的是圆柱部分的深度，不包括锥坑，其画法及尺寸注法如图 9.7 所示。

用钻头钻孔时，被加工零件的结构设计应考虑到加工方便，以保证钻孔的主要位置准确和不损坏刀具。要求钻头轴线尽量垂直于被钻孔的端面，如图 9.8 所示。

4. 凸台和凹坑

零件上与其他零件的接触面一般都需要加工。为了减少加工面积，并保证零件表面之间有良好的接触，常常在铸件上设计出凸台、凹坑，如图 9.9 所示。

图 9.7　钻孔结构

(a) 好

(b) 不好

图 9.8　钻孔的位置和结构

图 9.9　凸台和凹坑

9.3　零件图的视图选择和尺寸标注

在了解零件结构形状的基础上，利用前面所学的机件的各种表达方法，选用一组图形将零件全部结构形状正确、完整、清晰、简捷地表达出来，这是零件图的视图选择的基本要求。

9.3.1　零件图的视图选择

1. 主视方向的确定

主视图是零件图中最主要的视图，是一组图形的核心，它选择的合理与否，直接影响到其他视图的表达和看图是否方便。选择主视方向时应考虑以下几个方面的因素。

(1) 应使主视图能较多地反映零件的结构特征。如图 9.10 所示车床尾座，选择 1 所示方向作为主视方向，能使主视图更多地反映零件的结构形状，而 2 所示方向所反映的零件结构形状较少。因此，应选择 1 方向作为主视方向。

（2）应使主视图符合零件的加工位置。对于轴套、轮盘等以回转体结构为主的零件，因其主要是在车床或磨床上加工，其主视图应尽量符合加工位置，即轴线水平放置，这样便于工人加工时看图操作。

（3）应使主视图符合零件的工作位置或自然安放位置。箱壳、叉架类零件加工工序较多，加工位置经常变化，因此，这类零件应按其在机器中的工作位置或形体的自然位置摆放，这样图形和实际位置直接对应，便于看图和指导安装。如确定泵体的主视图时，应使泵体的底板处于下方，这样就会使图与实物的工作位置相一致。

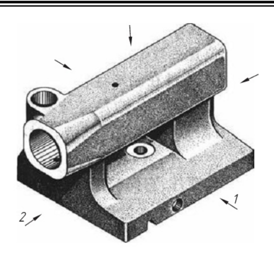


图 9.10　车床尾座

2. 其他视图的选择

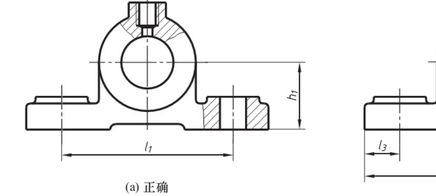
当主视图确定之后，对于零件尚未表达清楚的结构，补充适当的图形将其表达完整，可运用第 7 章所介绍的国家标准规定的各种表达方法、简化画法、局部放大画法及规定画法。保证其他视图为主视图的补充，在保证表达清楚的前提下应使视图数量最少。

9.3.2　零件图的尺寸标注

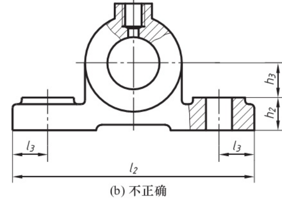
在零件图上标注尺寸，除了要符合前面所述的正确、完整、清晰的要求外，还要注得合理。所谓合理，即标注的尺寸能满足设计和加工工艺的要求，也就是使零件在机器（或部件）中既能很好地工作，又能使零件便于制造、测量和检验。要做到尺寸注得合理，还需要掌握有关专业知识和具备一定的生产实际经验，本节仅介绍合理标注尺寸应考虑的几个问题。

1. 零件图上的主要尺寸必须直接注出

主要尺寸是指直接影响零件在机器或部件中的工作性能和准确位置的尺寸，如零件间的配合尺寸、重要的安装定位尺寸等，如图 9.11 所示。



(a) 正确



(b) 不正确

图 9.11　主要尺寸应直接注出

2. 合理地选择基准

尺寸基准一般选择零件上的一些面和线。面基准常选择零件上较大的加工面、与其他零件的结合面、零件的对称平面、重要端面和轴肩等。线基准一般选择轴和孔的轴线、对

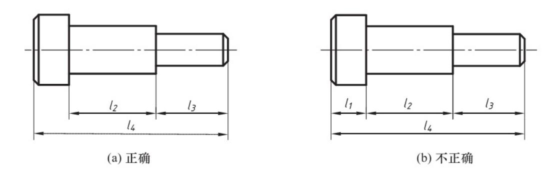
称中心线等，如图 9.12 所示。

由于每个零件都有长、宽、高三个方向的尺寸，因此每个方向都有一个重要尺寸基准。在同一方向上还可以有一个或几个与主要尺寸有尺寸联系的辅助基准。基准按用途可分为设计基准和工艺基准：设计基准是用来确定零件在部件中准确位置的基准，常选其中之一作为尺寸标注的主要基准。工艺基准是为便于加工和测量而选定的基准。

图 9.12　基准的选择

3. 避免出现封闭尺寸链

零件同一方向上的尺寸可以首尾相接，列成尺寸链的形式，应避免构成封闭尺寸链。如图 9.13(a)所示是正确的，图 9.13(b)所示是不正确的。因为 l_4 是 l_1、l_2、l_3 之和，而每个尺寸在加工后都有误差，则 l_4 的误差为另外三个尺寸误差的总和，可能达不到设计要求。所以应选一个次要尺寸(如 l_1)空出不注，以便所有的尺寸误差都积累到这一段，保证主要尺寸的精度。



(a) 正确　　(b) 不正确

图 9.13　避免出现尺寸封闭链的示例

4. 标注尺寸要便于加工和测量

(1) 考虑符合加工顺序的要求。如图 9.14(a)所示的小轴，长度方向尺寸的标注符合加工顺序。从图 9.14(b)～图 9.14(e)所示的小轴在车床上的加工顺序可以看出，从下料到每一加工工序，都在图中直接注出所需尺寸(图中尺寸 51 为设计要求的主要尺寸)。

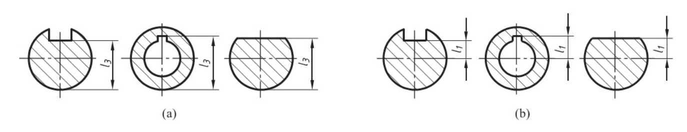
(a)

(b)　　　　(c)

(d)　　　　(e)

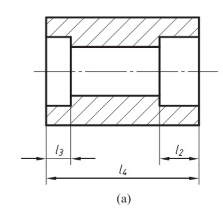
图 9.14　标注尺寸应符合加工工序

(2) 考虑测量、检验方便的要求。图 9.15 所示是常见的几种断面形状，显然图 9.15(a)中标注的尺寸便于测量、检验，而图 9.15(b)中标注的尺寸不便于测量、检验。同理，图 9.16 所示的套筒中，图 9.16(a)所标注的长度尺寸便于测量、检验，而图 9.16(b)中标注的尺寸不便于测量、检验。

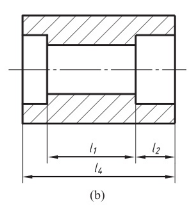


(a)　　　　(b)

图 9.15　标注尺寸要考虑便于测量、检验示例(一)



(a)



(b)

图 9.16　标注尺寸要考虑便于测量、检验示例(二)

9.3.3　零件上常见结构的尺寸注法

零件上常见结构的尺寸注法见表 9－1。

表 9－1　零件上常见结构的尺寸注法

序号	类型	旁注法		普通注法
1	光孔	4×Ø5↧10	4×Ø5	4×Ø5 10
2	光孔	4×Ø5H7↧10 孔↧12	4×Ø5H7↧ 孔↧12	4×Ø5H7 10 12
3	沉孔	3×Ø7 ⌴Ø12.8×90°	3×Ø7 ⌴Ø12.8×90°	90° Ø12.8 3×Ø7
4	沉孔	4×Ø7 ⌴Ø11↧4.7	4×Ø7 ⌴Ø11↧4.7	Ø11 4.7 4×Ø7

（续）

序号	类型	旁注法		普通注法
5	沉孔	4x⌀7 ⌴⌀11↧4.7	4x⌀7⌴⌀13	⌀11 4.7 4x⌀7
6	螺孔	3xM6-7H	3xM6-7H	3xM6-7H
7		3xM6-7H↧10	3xM6-7H↧10	3xM6-7H 10
8		3xM6-7H↧10 孔↧12	3xM6-7H↧10 孔↧12	3xM6-7H 10 12

9.3.4　典型零件的视图选择和尺寸标注示例

根据零件的结构形状，大致可分成四类典型零件。

（1）轴套类零件——轴、衬套等零件。

（2）盘盖类零件——端盖、阀盖、齿轮等零件。

（3）叉架类零件——拨叉、连杆、支座等零件。

（4）箱体类零件——阀体、泵体、减速器箱体等零件。

1. 轴套类零件

轴套类零件的基本形状是同轴回转体，并且主要在车床及磨床上加工。因此，选择轴套类零件的主视图的投影方向与轴线垂直，即将轴线按加工位置水平放置，通常把直径较小的一端放在右边。这类零件一般只用一个基本视图，再辅以适当的断面图、局部视图、局部剖视图或局部放大图等其他表达方法，将键槽、退刀槽及其他未表达清楚的部位表达出来。

图 9.17 所示的主动齿轮轴属于轴套类零件，图中采用一个轴线水平放置的主视图，既可把各段回转体的形状大小及相对位置反映出来，又能反映出轴肩、退刀槽、倒角等结构，同时将平键键槽转向正前方，反映出了平键键槽的形状和位置。采用一个移出断面图将轴上键槽的形状及尺寸清楚地表示出来。

在标注轴套类零件的尺寸时，常以水平位置的轴线作为径向尺寸基准(也是高度与宽度方向的尺寸基准)。图 9.17 中所标注的各段轴的直径尺寸均是以轴线为基准标注的。这样就把设计上的要求和加工时的工艺基准(轴类零件在车床上加工时，两端用顶针顶住轴的中心孔)统一起来了。

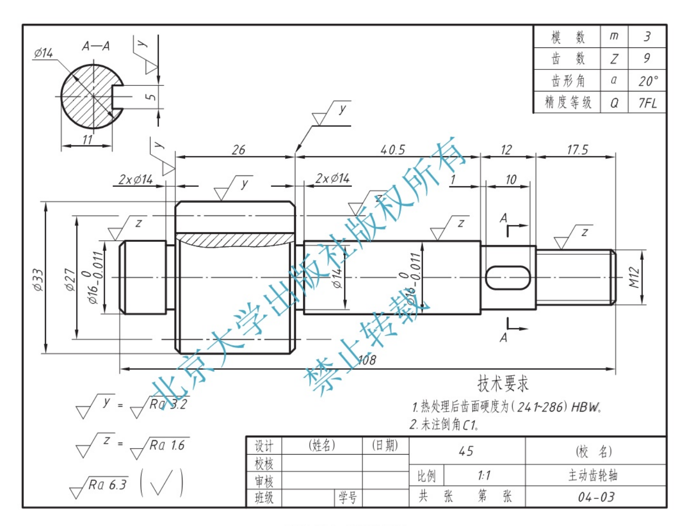


图 9.17 轴零件图

轴套类零件长度方向的尺寸基准常选用重要的端面、接触面(轴肩)或加工面等。例如，在图 9.17 中以Ø33 齿轮的端面为长度方向尺寸基准的。

2. 盘盖类零件

图 9.18 所示的齿轮油泵泵盖属于盘盖类零件。这类零件的基本形状是扁平的盘状。

盘盖类零件的主视图，可选用如图 9.18 所示的剖视图。由于盘盖类零件还常带有各种形状的凸缘、均布的圆孔和肋等局部结构，所以仅采用一个主视图往往不能完整地表达零件。在图 9.18 中就增加了一个右视图，以表达泵盖的整体形状以及周围连接孔的分布情况。

在标注盘盖类零件的尺寸时，通常选用轴孔的轴线作为径向尺寸基准。图 9.18 中的

泵盖就是这样选择的，以其为基准标注出了泵盖上连接孔的定位尺寸 $R22$。

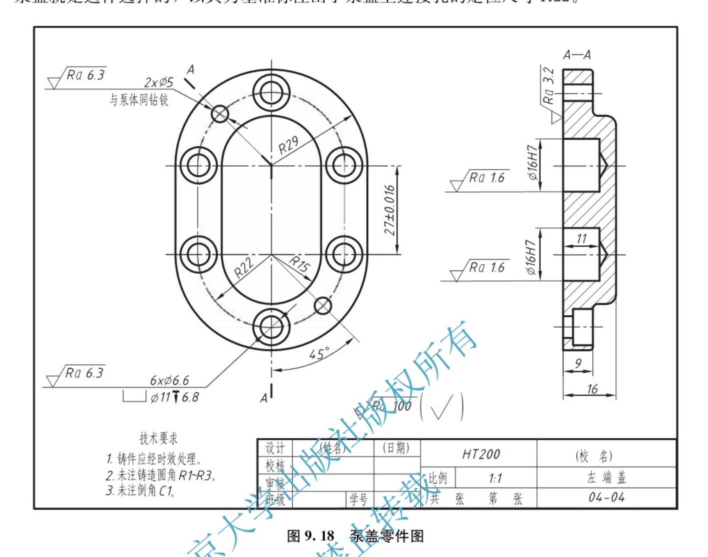


图 9.18　泵盖零件图

长度方向尺寸基准，常选用重要的端面。例如，这个泵盖就选用了左端面作为长度方向的尺寸基准，由此注出 9、16 等尺寸。

3. 叉架类零件

图 9.19 所示的踏脚座属于叉架类零件。这类零件形状比较复杂，多为铸造或锻造后，再对毛坯进行切削加工而成。

这类零件由于加工位置多变，在选择主视图时，应主要考虑工作位置和形状特征。例如，图 9.19 所示的主视图就是这样选择的。

叉架类零件常常需要两个或两个以上的基本视图来表达，并且要用局部视图、断面图等表达零件的细部结构。如图 9.19 所示的踏脚座，除主视图外，采用了俯视图表达安装板、肋和轴承的宽度，以及它们的相对位置；此外，用 A 局部视图，表达左端安装板的形状，用移出断面表达肋的断面形状。

在标注叉架类零件的尺寸时，通常选用安装面或零件的对称面作为尺寸基准。例如，图 9.19 中的踏脚座就选用了安装板左端面作为长度方向的尺寸基准；选用安装板的水平对称面作为高度方向的尺寸基准；从这两个基准出发，分别注出 74、95，定出上部轴承的轴线位置；宽度方向的尺寸基准是前后方向的对称面，由此在俯视图中注出 30、40、60，以及在 A 向局部视图中注出 60、90。

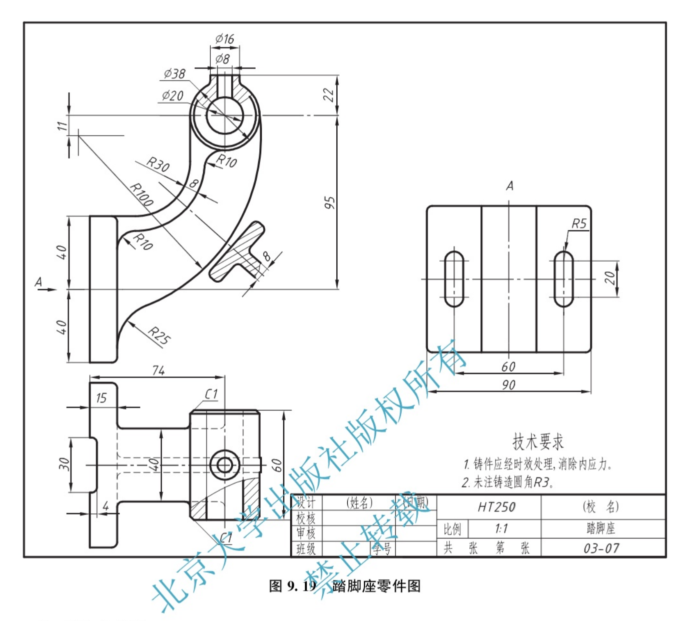


图 9.19 踏脚座零件图

4. 箱体类零件

图 9.20 所示的齿轮油泵泵体属箱体类零件。箱体类零件是用来支承、包容、保护运动零件或其他零件的。一般来说，这类零件的结构形状比前面三类零件都复杂，多为铸造件，并且加工位置更多。

箱体类零件在选择主视图时，主要考虑工作位置和形状特征。选用其他基本视图时，应根据实际情况适当采取剖视图、断面图、局部视图和斜视图等多种形式，以清晰地表达零件的内外形状。

图 9.20 中的泵体共用了两个基本视图和一个局部视图，其中主视图选择了局部剖视图，左视图选用了全剖视图，*B* 局部视图主要用来表达泵体底板的形状。

在标注箱体类零件的尺寸时，通常选用设计上要求的轴线、重要的安装面、接触面(或加工面)、箱体某些主要结构的对称面等作为尺寸基准。对于箱体上需要切削加工的部分，应尽可能按便于加工和检验的要求来标注尺寸。

如图 9.20 所示的泵体，选择其底面为高度方向尺寸基准，由此注出进出油口的位置尺寸 52；以前后对称面为宽度方向的尺寸基准，由此注出尺寸 22、26；以左右对称面为长度方向的尺寸基准，由此注出尺寸 70、69、*R*22 等。

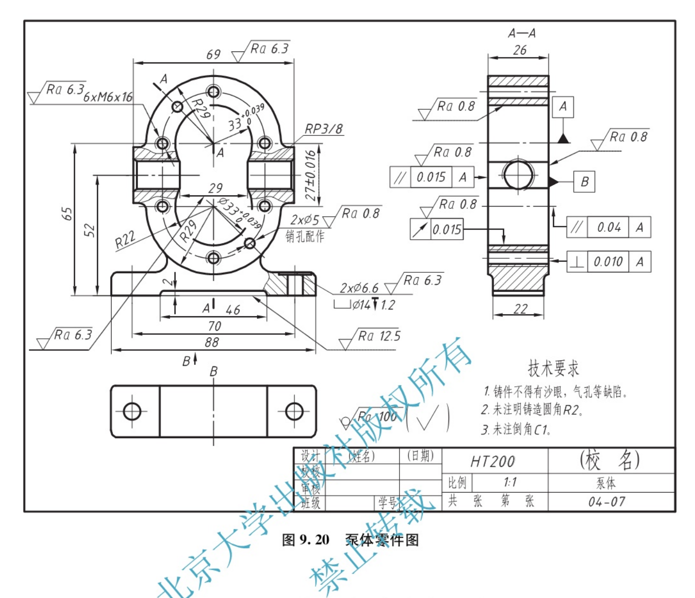


图 9.20　泵体零件图

9.4　零件图中的技术要求

零件图是指导生产零件的重要文件，它应包含零件生产全过程所需的资料和信息。因此，它除了图形外，还应有制造零件时应达到的质量要求，一般称为技术要求，用以保证零件的加工制造精度，满足其使用性能。

零件图中的技术要求主要包括以下五个方面。

（1）几何精度：可大致分为四类，尺寸精度、表面结构、几何公差和结构要素的专用公差。

（2）加工、装配的工艺要求：为保证产品质量而提出的工艺要求。

（3）理化参数：对材料的成分、组织和性能方面的要求。

（4）产品性能及检测要求：使用及调试方面的要求。

（5）其他要求。

对于这些要求，应按国家标准规定的代(符)号或用文字正确地注写出来。标准化了的几何精度要求一般注写在图形上。文字说明应以“技术要求”为标题，应“尽量置于标题栏上方或左方”，不要将对于结构要素的统一要求(如“全部倒角 C1”)书写在图样右上角。当文字说明仅一条时不必编号，但不得省略标题。

本节仅对技术要求中的几何精度部分内容作一简单介绍。

9.4.1 零件的表面结构

1. 表面结构的基本概念

零件的各个表面，不管加工得多么光滑，在放大镜(或显微镜)下观察，都可以看到峰谷高低不平的情况，如图 9.21 所示。零件的实际表面轮廓是由粗糙度轮廓(R 轮廓)、波纹度轮廓(W 轮廓)和原始轮廓(P 轮廓)所构成的。粗糙度轮廓是表面轮廓中具有较小间距和峰谷的部分，它所具有的微观几何形状特征称为表面粗糙度；波纹度轮廓是表面轮廓中不平度的间距比粗糙度轮廓大得多的部分，这种间距较大、随机的或接近周期形式的成分构成的表面不平度称为表面波纹度；而原始轮廓是忽略了粗糙度轮廓和波纹度轮廓之后的总轮廓，它具有宏观几何形状特征。

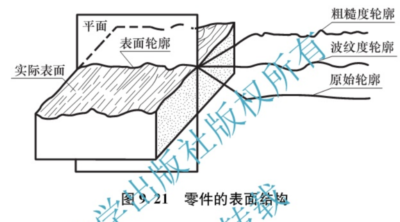
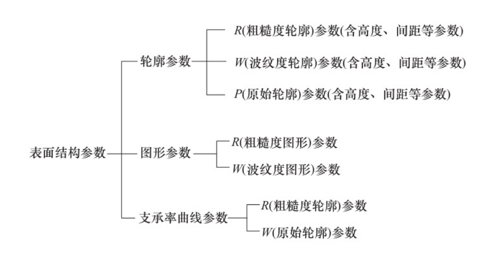


图 9.21 零件的表面结构

表面粗糙度是零件表面结构的一个重要指标。表面粗糙度对零件的耐磨性、抗腐蚀性、密封性、抗疲劳性以及配合的可靠性都有影响。

2. 表面结构的评定参数

表面结构参数如下：



在这里我们只介绍表面结构参数里的表面粗糙度参数。

在生产中评定零件表面粗糙度的主要参数是使用评定轮廓的算术平均偏差，它是在取样长度 lr 内，被评定轮廓在任一位置至 X 轴的高度 $Z(x)$ 绝对值的算术平均值，用 Ra 表

示，如图9.22所示。用公式表示为：

$$Ra = \frac{1}{l_r}\int_0^{l_r} |Z(x)|\,\mathrm{d}x$$

表面粗糙度有时还使用轮廓的最大高度 Rz 来评定，它是指在一个取样长度内最大轮廓峰高和最大轮廓谷深之和，如图9.22所示。

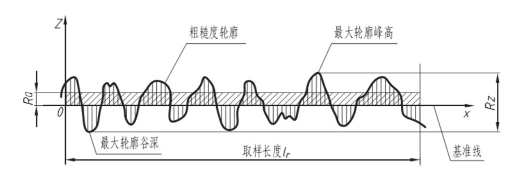


图9.22　评定轮廓的算术平均偏差 Ra 和轮廓的最大高度 Rz

有关检验规范的基本术语有以下几个。

(1) 取样长度和评定长度。以粗糙度高度参数的测量为例，由于表面轮廓的不规则性，测量结果与测量段的长度密切相关，在 X 轴(即基准线，参见图9.22)上选取一段适当长度进行测量，这段长度称为取样长度。

在每一取样长度内的测得值通常是不等的，为取得表面粗糙度最可靠的值，一般取几个连续的取样长度进行测量，并以各取样长度内测量值的平均值作为测得的参数值。这段在 X 轴方向上用于评定轮廓的、包含着一个或几个取样长度的测量段称为评定长度。

当参数代号后未注明时，评定长度默认为5个取样长度，否则应注明个数。例如，Rz 0.4、Ra 30.8、Rz 13.2分别表示评定长度为5个(默认)、3个、1个取样长度。

(2) 轮廓滤波器和传输带。物体表面轮廓分为三类，分别是原始轮廓(P轮廓)、粗糙度轮廓(R轮廓)、波纹度轮廓(W轮廓)，三类轮廓各有不同的波长范围，它们又同时叠加在同一表面轮廓上，因此，在测量评定三类轮廓上的参数时，必须先将表面轮廓在特定仪器上进行滤波，以便分离获得所需波长范围的轮廓。这种可将轮廓分成长波和短波的仪器称为轮廓滤波器。由两个不同截止波长的滤波器分离获得的轮廓波长范围则称为传输带。

(3) 极限判断规则。完工零件的表面按检验规范测得轮廓参数值后，需与图样上给定的极限值比较，以判定其是否合格。极限值判定规则有两种。

① 16%规则。运用本规则时，当被检表面测得的全部参数值中，超过极限值的个数不多于总个数的16%时，该表面是合格的。所谓超过极限值是指当给定上限值时，超过是指大于给定值；当给定下限值时，超过是指小于给定值。

② 最大规则。运用本规则时，被检的整个表面上测得的参数值一个也不应超过给定的极限值。

16%规则是所有表面结构要求标注的默认规则。即当参数代号后未注写“max”字样时，均默认为应用16%规则(如 Ra0.8)。反之，则应用最大规则(如 Ramax0.8)。

3. 表面粗糙度的选用

在GB/T 1031—2009《产品几何技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及

其数值》中规定了 Ra 值系列见表 9－2，表中第一系列为优先选用系列。具体选用时，可参照生产实例，用类比法确定，并注意以下几个方面。

（1）在满足功用的前提下，尽量选用较大的 Ra 值，以降低生产成本。

（2）在同一零件上，工作面应比非工作面 Ra 值要小。

（3）配合性质相同时，零件尺寸大的比尺寸小的表面 Ra 值要大，同一公差等级，小尺寸比大尺寸、轴比孔的 Ra 值要小。

（4）受循环载荷的表面及容易产生应力集中的表面（如圆角、沟槽）的 Ra 值要小。

（5）运动速度高、单位压力大的摩擦表面比运动速度低、单位压力小的摩擦表面的 Ra 值要小。

表 9－2　Ra 及 l_r、l_n 选用值

Ra/μm	≥0.008～0.02	≥0.02～0.1	≥0.1～2.0	≥2.0～10.0	≥10.0～80
取样长度 l_r/mm	0.08	0.25	0.8	2.5	8.0
评定长度 l_n/mm	0.4	1.25	4.0	12.5	40

Ra（系列）/μm								
0.008	0.010	**0.012**	0.016	0.020	**0.025**	0.032	0.040	**0.050**
0.063	0.080	**0.100**	0.125	0.160	**0.20**	0.25	0.32	**0.40**
0.50	0.63	**0.80**	1.00	1.25	**1.60**	2.0	2.5	**3.2**
4.0	5.0	**6.3**	8.0	10.0	**12.5**	16	20	**25**
32	40	**50**	63	80	**100**			

注：1. Ra 数值中的黑体字为第一系列，应优先采用。

2. l_n 是评定轮廓所必须的一段长度，默认值为五个取样长度。

不同的加工方法可获得不同的 Ra 值，表 9－3 列出了常见加工方法可获得的 Ra 值。

表 9－3　表面粗糙度的表面特征、加工方法及应用

表面外观情况		Ra/μm	加工方法	应用举例
粗糙表面	明显可见刀痕	≤20	粗车、粗刨、粗铣、钻、毛锉、锯断	半成品粗加工的表面、非配合的加工表面，如轴端面、倒角、钻孔、齿轮和带轮侧面、键槽底面、垫圈接触面等
半光表面	微见加工痕迹	≤10	车、刨、铣、镗、钻、粗铰	轴上不安装轴承、齿轮的非配合表面，紧固件的自由装配表面，轴和孔的退刀槽等
	微见加工痕迹	≤5	车、刨、铣、镗、拉、粗刮、滚压	半精加工表面、箱体、支架、盖面、套筒等和其他零件结合而无配合要求的表面，需要发蓝的表面等
	看不清加工痕迹	≤2.5	车、刨、铣、镗、磨、拉、刮、铣齿	接近于精加工表面，箱体上安装轴承的镗孔表面，齿轮的工作面等

（续）

表面外观情况		Ra/μm	加工方法	应用举例
光表面	可辨加工痕迹方向	≤1.25	车、镗、磨、拉、刮、精铰、磨齿、滚压	圆柱销、圆锥销与滚动轴承配合的表面，普通车床导轨面，内、外花键定心表面等
	微辨加工痕迹方向	≤0.63	精铰、精镗、磨、刮、滚压	要求配合性质稳定的配合表面，工作时受变应力的重要零件，较高精度车床的导轨面等
	不可辨加工痕迹方向	≤0.32	精磨、珩磨、研磨、超精加工	精密机床主轴锥孔、顶尖圆锥面，发动机曲轴，凸轮轴工作表面，高精度齿轮齿面
极光表面	暗光泽面	≤0.16	精磨、研磨、普通抛光	精密机床主轴颈表面，一般量规工作表面，汽缸套内表面，活塞表面等
	亮光泽面	≤0.08	超精磨、精抛光、镜面磨削	精密机床主轴颈表面，滚动轴承的滚珠，高压油泵中柱塞和柱塞孔配合表面等
	镜状光泽面	≤0.04		
	镜面	≤0.01	镜面磨削、超精研	高精度量仪、量块的工作表面，光学仪器中的金属镜面等

4. 表面结构的代号、符号及其标注

GB/T 131—2006《产品几何技术规范(GPS)技术产品文件中表面结构的表示法》规定了表面结构代号、符号及其注法。图样上表示零件表面结构的符号画法如图 9.23 所示，图中的尺寸见表 9-4，表面结构的符号意义见表 9-5，表面结构代号示例见表 9-6。

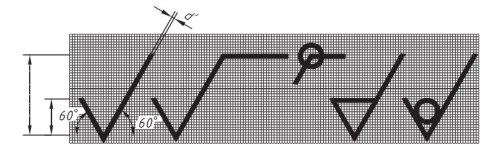


图 9.23　表面结构符号的画法及比例

表 9-4　表面结构符号的尺寸　　（单位：mm）

数字与字母的高度 h	2.5	3.5	5	7	10	14	20
符号的线宽 d' 数字与字母的笔画宽度 d	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2
高度 H_1	3.5	5	7	10	14	20	28
高度 H_2(最小值)	7.5	10.5	15	21	30	42	60

注：H_2 取决于标注内容。

表 9-5　表面结构的符号

符号名称	符号	含义
基本(图形)符号		未指定工艺方法的表面，当通过一个注释解释时可单独使用
扩展(图形)符号		用去除材料方法获得的表面；仅当其含义是“被加工表面”时可单独使用
		不去除材料的表面，也可用于表示保持上道工序形成的表面，不管这种状况是用去除或不去除材料形成
完整(图形)符号		在以上各符号的长边上加一横线，以便注写对表面结构的各种要求

表 9-6　表面结构代号示例

No.	代号示例	含义/解释	补充说明
1	Ra 0.8	表示不允许去除材料，单向上限值，默认传输带，R 轮廓，算数平均偏差 0.8μm，评定长度为 5 个取样长度(默认)，“16%规则”(默认)	参数代号与极限值之间应留空格(下同)，本例未标注传输带，应理解为默认传输带，此时取样长度可由 GB/T 10610—2009 和 GB/T 6062—2009 中查取
2	Rz max0.2	表示去除材料，单向上限值，默认传输带，R 轮廓，粗糙度最大高度的最大值 0.2μm，评定长度为 5 个取样长度(默认)，“最大规则”	示例 No. 1～ No. 4 均为单向极限要求，且均为单向上限值，则均可不加注“U”，若为单向下限值，则应加注“L”
3	0.008-0.8/Ra 3.2	表示去除材料，单向上限值，传输带 0.008 - 0.8mm，R 轮廓，算数平均偏差 3.2μm，评定长度为 5 个取样长度(默认)，“16%规则”(默认)	传输带“0.008 - 0.8”中的前后数值分别为短波和长波滤波器的截止波长(λ_s—λ_c)，以示波长范围。此时取样长度等于 λ_c，即 l_r=0.8mm
4	-0.8/Ra3 3.2	表示去除材料，单向上限值，传输带：根据 GB/T 6062，取样长度 0.8mm (λ_s 默认为 0.0025mm)，R 轮廓，算数平均偏差 3.2μm，评定长度包含 3 个取样长度，“16%规则”(默认)	传输带仅注出一个截止波长值(本例 0.8 表示 λ_c 值)时，另一截止波长值 λ_s 应理解为默认值，由 GB/T 6062—2009 中查知 λ_s = 0.0025mm
5	U Ra max 3.2 L Ra 0.8	表示不允许去除材料，双向极限值，两极限值均使用默认传输带，R 轮廓。上限值：算术平均偏差 3.2μm，评定长度为 5 个取样长度(默认)，“最大规则”。下限值：算术平均偏差 0.8μm，评定长度为 5 个取样长度(默认)，“16%规则”(默认)	本例为双向极限要求，用“U”和“L”分别表示上限值和下限值。在不致引起歧义时，可不加注“U”、“L”

5．表面结构代(符)号在图样上的标注方法

表面结构代(符)号对每一表面一般只标注一次，并尽可能注在相应的尺寸及其公差的同一视图上，符号应从材料外指向并接触表面。除非另有说明，所标注的表面结构要求是对完工零件表面的要求。表面结构数值的注写和读取方向必须与尺寸的注写和读取方向一致。表面结构标注方法示例见表 9－7。

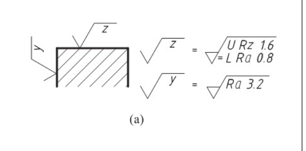
表 9－7　表面结构的标注方法示例

图例	说明
Ra 0.8　Rz 3.2　Rz 3.2　Rp 1.6	表面结构的注写方向：注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致
Rz 12.5　Rz 6.3　Ra 1.6　Ra 1.6　Rz 12.5　Rz 6.3	表面结构可标注在轮廓线上，其符号应从材料外指向并接触表面
铣　Rz 3.2	表面结构要求可以用带黑点的指引线引出标注
车　Ra 3.2	表面结构要求可以用带箭头的指引线引出标注
ø120 h6　Rz 12.5　ø120 H7　Rz 6.3	在不致引起误解时，表面结构要求可以标注在给定的尺寸线上

（续）

图例	说明
	表面结构要求可以标注在几何公差框格的上方
	圆柱的表面结构要求只标注一次，标注在圆柱特征的延长线上
	棱柱的表面结构要求只标注一次，如果每个棱柱表面有不同的要求时，则应分别单独标注
(a) (b)	如果在工件的多数(包括全部)表面有相同的表面结构要求，其表面结构要求可统一标注在图样的标题栏附近。此时(除全部表面有相同的要求情况外)，表面结构要求的符号后面应有： (1) 在圆括号内给出无任何其他标注的基本符号，见图(a)； (2) 在圆括号内给出不同的表面结构要求，见图(b)； (3) 不同的表面结构要求应直接标注在图形中

（续）

图例	说明
 (a) = Ra 3.2 (b) = Ra 3.2 (c) = Ra 3.2 (d)	可用带字母的完整符号，以等式的形式，在图形或标题栏附近，对有相同表面结构要求的表面进行交互标注，见图(a)； 未指定工艺方法的多个表面结构要求的简化注法，见图(b)； 要求去除材料的多个表面结构要求的简化注法，见图(c)； 不允许去除材料的多个表面结构要求的简化注法，见图(d)

9.4.2　极限与配合

极限与配合是零件图和装配图中的一项重要的技术要求，也是检验产品质量的技术指标，可参照极限与配合国家标准。

1. 极限与配合的概念

(1) 零件的互换性。当装配一台机器或部件时，从一批规格相同的零件中任取一件，不经修配就能立即装到机器或部件上，并能保证使用要求。零件的这种性质称为互换性。现代化的机械工业，要求机器零件具有互换性，这样，既能满足各生产部门广泛的协作要求，又能进行高效率的专业化生产。

(2) 尺寸公差。在零件的加工过程中，由于机床精度、刀具磨损、测量误差等因素的影响，完工后的实际尺寸总存在一定的误差。为了保证零件的互换性，必须将零件的实际尺寸控制在允许变动范围内，这个允许的尺寸变动量称为尺寸公差，简称公差。下面用图 9.24 并以一孔尺寸ø30±0.010 为例说明公差的有关术语。

① 基本尺寸：根据零件强度、结构和工艺要求，设计给定的尺寸为ø30。

② 实际尺寸：通过测量所得到的尺寸。

③ 极限尺寸：允许尺寸变动的两个极限值。

最大极限尺寸 30.010＝30＋0.010

最小极限尺寸 29.990＝30－0.010

④ 极限偏差：极限尺寸减基本尺寸所得的代数差。最大极限尺寸和最小极限尺寸减基本尺寸所得的代数差，分别为上偏差和下偏差，统称为极限偏差。孔的上偏差用 ES、下偏差用 EI 表示；轴的上、下偏差分别用 es 和 ei 表示。

上偏差 ES＝最大极限尺寸－基本尺寸＝30.010－30＝＋0.010

下偏差 EI＝最小极限尺寸－基本尺寸＝29.990－30＝－0.010

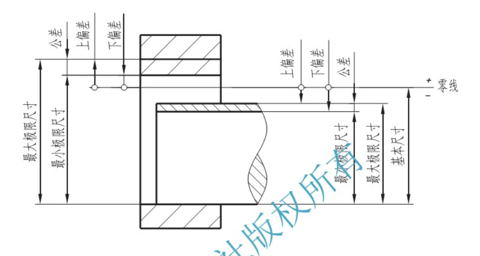


图 9.24　尺寸公差名词解释

⑤ 尺寸公差(简称公差)：允许尺寸的变动量，即最大极限尺寸减最小极限尺寸，也等于上偏差减下偏差所得的代数差。尺寸公差是一个没有符号的绝对值。

公差＝最大极限尺寸－最小极限尺寸

＝上偏差－下偏差＝30.010－29.990

＝＋0.010－(－0.010)＝0.020

偏差有正负之分，无论正负均需标注符号，但公差一定为正值，不必标“＋”号。

⑥ 公差带、公差带图和零线。公差带是表示公差大小和相对于零线位置的一个区域。为了便于分析，一般将尺寸公差与基本尺寸的关系，按放大比例画成简图称为公差带图，如图 9.25 所示。在公差带图中，上、下偏差距离应成比例，公差带方框的左右长度根据需要任意确定。一般用左低右高斜线表示孔的公差带，用左高右低斜线表示轴的公差带。

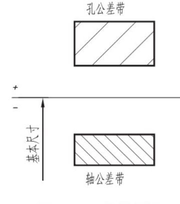


图 9.25　公差带图

⑦ 标准公差：用以确定公差带大小的任一公差。标准公差的数值由基本尺寸和公差等级来确定，公差等级确定尺寸的精确程度。国家标准将公差等级分为 20 个级：IT01、IT0、IT1～IT18。“IT”表示标准公差。从 IT01 至 IT18 等级依次降低。国家标准将≤500mm 的基本尺寸范围分成 13 段，按不同的公差等级列出了各段基本尺寸的公差值，表 9－8 中列出部分标准公差数值。

⑧ 基本偏差：用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差。一般是指靠近零线的那个极限偏差。

表 9-8　标准公差数值(GB/T 1800.2—2009)

基本尺寸/mm		公差等级																		
		/μm													/mm					
大于	至	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
—	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.62	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7

根据实际需要，国家标准分别对孔和轴各规定了 28 种不同的基本偏差，如图 9.26 所示。附录附表 22 和附表 23 分别列出了优先配合轴和孔的极限偏差数值表。其中靠近零线的即为基本偏差。

从图 9.26 中可知：

a. 基本偏差用拉丁字母表示，大写字母表示孔，小写字母表示轴。

b. 轴的基本偏差从 a～h 为上偏差，从 j～zc 为下偏差，js 的上下偏差为＋IT/2 和－IT/2。

c. 孔的基本偏差从 A～H 为下偏差，从 J～ZC 为上偏差，JS 的上下偏差为＋IT/2 和－IT/2。

d. 基本偏差系列图只表示公差带的位置，不表示公差带的大小。因此，公差带的一端是开口的，开口的另一端由标准公差限定。

e. 轴和孔的另一偏差，要根据轴和孔的基本偏差和标准公差，按以下代数式计算：

$$ei = es - IT \text{ 或 } es = ei + IT$$

$$ES = EI + IT \text{ 或 } EI = ES - IT$$

⑨ 孔和轴的公差带代号。孔和轴的公差带代号用基本偏差代号与公差等级代号组成，如图 9.27 所示。

其中，⌀50H8 的含义为：基本尺寸为⌀50，公差等级为 8 级，基本偏差为 H 的孔的公

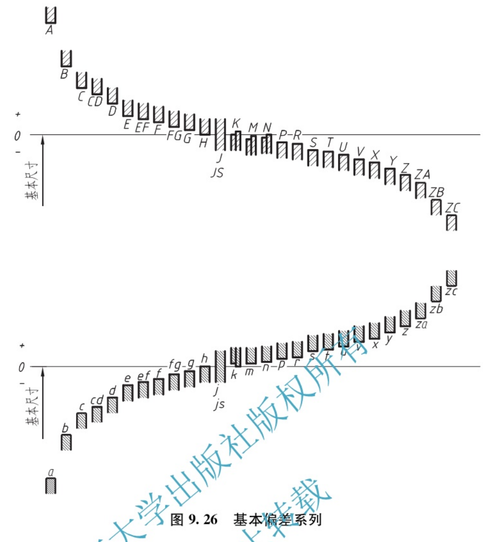


图 9.26　基本偏差系列

基本尺寸　孔的公差带代号
Ø50H8
孔的基本偏差代号　公差等级代号
基本尺寸　轴的公差带代号
Ø50f7
轴的基本偏差代号　公差等级代号

图 9.27　孔和轴的公差带代号

差带；Ø50f7 的含义为：基本尺寸为Ø50，公差等级为 7 级，基本偏差为 f 的轴的公差带。

(3) 配合。基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系，称为配合。

① 配合种类。根据使用的要求不同，孔和轴之间的配合有松有紧，因而国家标准规定配合分三类，即间隙配合、过盈配合、过渡配合。

a. 间隙配合：孔与轴装配时有间隙(包括最小间隙等于零)的配合。如图 9.28(a)所示，孔的公差带完全在轴的公差带之上。

b. 过盈配合：孔与轴装配时有过盈(包括最小过盈等于零)的配合。如图 9.28(b)所示，孔的公差带在轴的公差带之下。

c. 过渡配合：孔与轴装配时，可能有间隙也可能有过盈的配合。如图 9.28(c)所示，孔的公差带与轴的公差带互相交叠。

② 配合的基准制。国标对配合规定了基孔制和基轴制两种基准制。

a. 基孔制：基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度，如图 9.29(a)所示。这种制度是在同一基本尺寸的配合中，将孔的公差带位置固定，通过变动轴的公差带位置，得到各种不同的配合。基孔制的孔称为基准孔，

基准孔的下偏差为零，其基本偏差用代号 H 表示。

b. 基轴制：基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度，如图 9.29(b)所示。这种制度是在同一基本尺寸的配合中，将轴的公差带位置固定，通过变动孔的公差带位置，得到各种不同的配合。

基轴制的轴称为基准轴，基准轴的上偏差为零，其基本偏差用代号 h 表示。

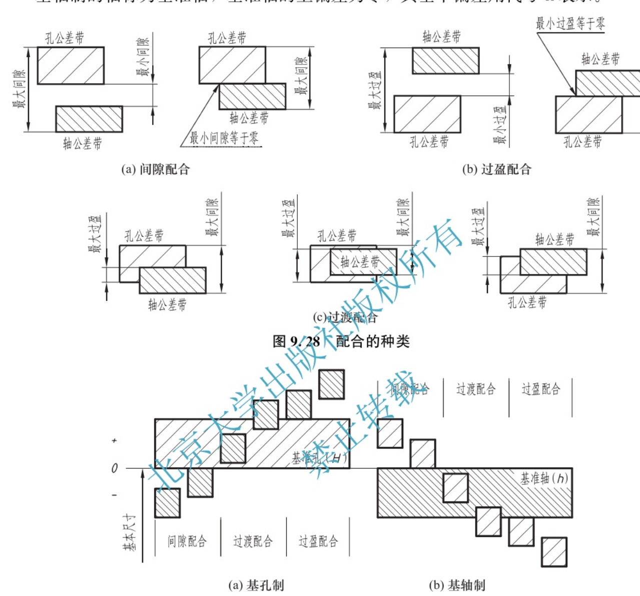


图 9.28　配合的种类

图 9.29　基孔制和基轴制

国家标准根据机械工业产品生产使用的需要，考虑到各类产品的不同特点，制订了优先及常用配合，应尽量选用优先配合和常用配合。基孔制及基轴制的优先、常用配合见表 9-9 和表 9-10。

表 9-9　基孔制优先、常用配合

基准孔	轴																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
H6						$\frac{H6}{f5}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$	$\frac{H6}{t5}$					

（续）

基准孔	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
H7						$\frac{H7}{f6}$	$\frac{H7^{*}}{g6}$	$\frac{H7^{*}}{h6}$	$\frac{H7}{js6}$	$\frac{H7^{*}}{k6}$	$\frac{H7}{m6}$	$\frac{H7^{*}}{n6}$	$\frac{H7^{*}}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7^{*}}{s6}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7^{*}}{u6}$	$\frac{H7}{v6}$	$\frac{H7}{x6}$	$\frac{H7}{v6}$	$\frac{H7}{z6}$
H8					$\frac{H8}{e7}$	$\frac{H8^{*}}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	$\frac{H8^{*}}{h7}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H8}{r7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{t7}$	$\frac{H8}{u7}$				
				$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$		$\frac{H8}{h8}$													
H9			$\frac{H9}{c9}$	$\frac{H9^{*}}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$		$\frac{H9^{*}}{h9}$													
H10			$\frac{H10}{c10}$	$\frac{H10}{d10}$				$\frac{H10}{h10}$													
H11	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11^{*}}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$				$\frac{H11^{*}}{h11}$													
H12		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$	常用配合59种，其中优先配合13种。带＊的为优先配合												

表 9-10　基轴制优先、常用配合

基准轴	A	B	C	D	E	F	G	H	Js	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
h5						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{Js6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$					
h6						$\frac{F7}{h6}$	$\frac{G7^{*}}{h6}$	$\frac{H7^{*}}{h6}$	$\frac{Js7}{h6}$	$\frac{K7^{*}}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7^{*}}{h6}$	$\frac{P7^{*}}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7^{*}}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	$\frac{U7^{*}}{h6}$				
h7					$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8^{*}}{h7}$		$\frac{H8^{*}}{h7}$	$\frac{Js8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$									
h8				$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$													
h9				$\frac{D9^{*}}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\frac{H9^{*}}{h9}$													
h10				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$													
h11	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11^{*}}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$				$\frac{H11^{*}}{h11}$	常用配合47种，其中优先配合13种。带＊的为优先配合												

注：附录附表分别摘录了GB/T1800.2—2009规定的优先配合中轴和孔的基本偏差数值。

2. 公差与配合的标注

(1) 在装配图上的标注。在装配图上标注公差与配合，采用组合式注法，如图 9.30(a)所示，它是在基本尺寸后面加一分式表示：分子为孔的公差带代号，分母为轴的公差带代号。

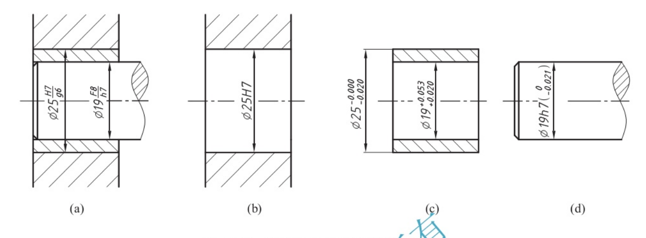


图 9.30　在图样上极限与配合的标注

(2) 在零件图上的标注方法。在零件图上标注公差有三种形式：只注公差带代号，如图 9.30(b)所示，这种形式用于大批量生产的零件图上；只注极限偏差数值，如图 9.30(c)所示，这种形式用于单件或小批量生产的零件图上；注出公差带代号及极限偏差数值，如图 9.30(d)所示，这种形式用于生产批量不定的零件图上。

3. 查表方法

互相配合的轴和孔，根据基本尺寸和公差带代号可通过查表获得极限偏差数值。查表的步骤一般是：先查出轴和孔的标准公差，然后查出轴和孔的基本偏差，最后由标准公差和基本偏差的关系，算出另一个偏差。优先及常用配合的极限偏差可直接由表查得，也可按上述步骤进行。

【例 9-1】 查表写出Ø18H8/f7 的极限偏差数值并分析其配合情况。

(1) Ø18H8 孔的极限偏差，可由附录附表 19 中查得。在表中由基本尺寸从大于 14 至 18 的行和公差带 H8 的列相交处查得，这就是孔的上、下偏差，即 $ES=+0.027$，$EI=0$，所以Ø18H8 可写成$Ø18^{+0.027}_{0}$。

(2) Ø18f7 轴的极限偏差，可由附录附表 18 中查得。在表中由基本尺寸从大于 14 至 18 的行和代号 f7 的列相交处查得，就是轴的上偏差和下偏差，即 $es=-0.016$，$ei=-0.034$，所以Ø18f7 可写成$Ø18^{-0.016}_{-0.034}$。

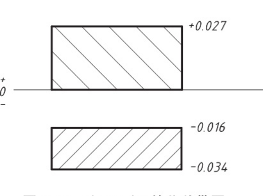


图 9.31　Ø18H8/f7 的公差带图

对照表 9-9 可知，H8/f7 是基孔制的间隙配合，其中 H8 是基准孔的公差代号；f7 是配合轴的公差代号。Ø18H8/f7 两者的公差带图如图 9.31 所示。

Ø18H8/f7 间隙配合的最大、最小间隙：

最大间隙 $=ES-ei=+0.027-(-0.034)=0.061\text{mm}$

最小间隙 $=EI-es=0-(-0.016)=0.016\text{mm}$

9.4.3　几何公差简介

零件加工后，不仅存在尺寸误差，而且会产生几何形状及相互位置误差。为了满足使用要求，零件的尺寸由尺寸公差加以限制，而零件的形状和要素间的相对位置则由几何公差加以限制。几何公差是指实际要素的形状所允许的或实际要素的位置对基准所允许的变动全量。几何公差的公差带是由公差值确定的，它是限制实际形状或实际位置变动的区域。公差带的形状有：两平行直线、两等距曲线、两同心圆、一个圆、一个球、一个圆柱、两同轴圆柱、两平行平面、两等距曲面等。

1. *几何公差的分类和各项符号*

根据几何公差特征将其划分为四类公差：形状、方向、位置和跳动公差。其特征项目和特征项目符号见表 9－11。

表 9－11　几何公差的几何特征和符号

公差类型	几何特征	符号	有无基准
形状公差	直线度	⏤	无
	平面度	⏥	
	圆度	○	
	圆柱度	⌭	
	线轮廓度	⌒	
	面轮廓度	⌓	
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	
	倾斜度	∠	
	线轮廓度	⌒	
	面轮廓度	⌓	

（续）

公差类型	几何特征	符号	有无基准
位置公差	位置度	⌖	有或无
	同心度（用于中心点）	◎	有
	同轴度（用于轴线）	◎	有
	对称度	⌯	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
跳动公差	圆跳动	↗	有
	全跳动	⌰	有

2. 几何公差的标注方法

GB/T 1182—2008《产品几何技术规范(GPS)几何公差 形状方向、位置和跳动公差标注》规定用公差框格来标注几何公差。

公差框格用细实线画出，可画成水平的或垂直的，框格高度是图样中尺寸数字高度的两倍，框格总长度视需要而定。框格中的数字、字母和符号与图样中的数字等高。图 9.32 给出了几何公差的框格形式。

用带箭头的指引线将被测要素与公差框格一端相连，指引线箭头应指向公差带的宽度方向或直径方向。指引线箭头所指部位可有以下几种。

(1) 当被测要素为素线或表面时，指引线箭头应指在该要素的轮廓线或其引出线上，并应明显地与尺寸线错开，如图 9.33(a)所示。

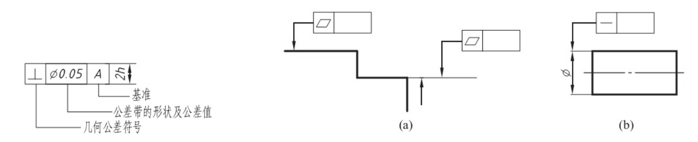


图 9.32　几何公差的框格形式　　图 9.33　指引线箭头部位

(2) 当被测要素为轴线、球心或对称平面时，指引线箭头应该与该要素的尺寸线对齐，如图 9.33(b)所示。此时不允许直接指在轴线或对称线上。

基准要素要用基准符号标注，图 9.34 给出的基准符号，符号中正方形线框与三角形间的连线用细实线绘制，且要与基准要素垂直。基准符号所接触的部位，可有以下几种。

(1) 当基准要素为素线或表面时，基准符号应接触该要素的轮廓线或其引出线标注，

并应明显地与尺寸线错开，如图 9.35(a)所示。

(2) 当基准要素为轴线、球心或对称平面时，基准符号应与该要素的尺寸线对齐，如图 9.35(b)所示。

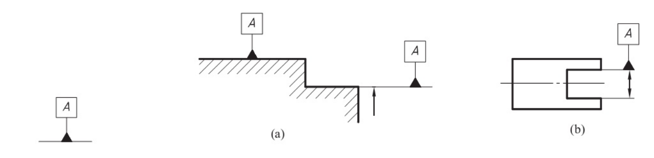


图 9.34　基准符号　　　图 9.35　基准符号标注的部位

图 9.36 是标注几何公差的实例，可供标注时参考。

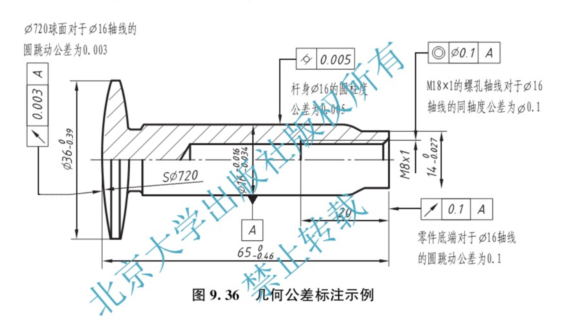


图 9.36　几何公差标注示例

9.5　零件图的识读

工程界的技术人员必须具备读零件图的能力。本节着重讨论读零件图的方法和步骤，通过实例，结合零件的结构分析、视图选择、尺寸标注和技术要求，具体地阐述读零件图的过程。

9.5.1　零件图识读的方法和步骤

零件图识读的方法和步骤如下。

(1) 读标题栏。了解零件的名称、材料、画图的比例、重量等。同时联系典型零件的分类，对这个零件有一个初步认识。

(2) 分析视图，想象形状。读零件的内、外形状和结构，是读零件图的重点。组合体和机件的读图方法(包括视图、剖视、断面等)，仍然适用于读零件图。从基本视图可看出零件的大体内外形状；结合局部视图、斜视图以及断面等表达方法，进一步读懂零件的局部形状；同时，结合设计和加工方面的要求，分析了解零件上一些结构的作用，从而综合

想象出零件的完整形状。

(3) 分析尺寸。根据零件的结构特点和用途以及与其他零件的相互关系，首先找出长、宽、高三个方向上尺寸标注的主要基准和重要尺寸，然后进一步用形体分析法了解各组成部分的定位尺寸和定形尺寸，检查尺寸的完整性，最后再按设计要求和工艺要求检查尺寸的合理性。

(4) 了解技术要求。了解零件图上零件的尺寸公差、几何公差、表面结构及其他技术要求，弄清哪些是配合尺寸，哪些是加工精度高的表面，在加工零件时还有哪些要求。

(5) 综合分析。把读懂的零件的结构形状、尺寸标注和技术要求等内容综合起来，就能比较全面地读懂这张零件图。

有时为了读懂比较复杂的零件图，还需参考有关的技术资料，包括零件所在的部件装配图以及与它有关的零件图等。

9.5.2　零件图识读举例

图 9.37 所示是一个阀体的零件图，按下述五个步骤读图。

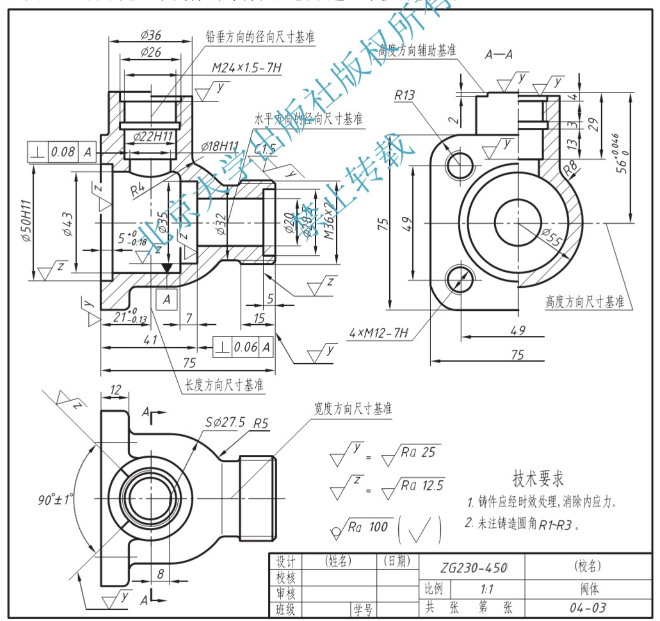


图 9.37　泵体

（1）读标题栏。零件的名称是阀体，属箱体类零件。材料是铸钢，毛坯是铸件。

（2）分析视图，想象形状。该零件共采用了主、俯、左三个视图，按工作位置放置。主视图是以阀体的前后对称面为剖切平面的全剖视图；左视图是半剖视，反映与阀盖安装孔的结构形状；俯视图采用外形图。从主视图和左视图可知，阀体的内腔是圆柱形的阶梯孔，其中∅43 的空腔是容纳阀芯的，∅35 的槽是用来放置密封圈的，右端 M36×2-6g 的螺纹是用来连接管道系统的，内部有∅28.5、∅20 的阶梯孔与空腔相通。

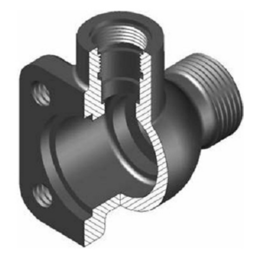


图 9.38　阀体的轴测剖视图

在阀体上部的∅36 圆柱体中，有∅26、∅22H11$\left({}^{0.13}_{0}\right)$、∅18H11$\left({}^{0.11}_{0}\right)$的阶梯孔与空腔相通，在阶梯孔内容纳阀杆、填料压紧套、填料等；由俯、左视图可看出阶梯孔的顶端有一个 90°扇形限位块，用来控制扳手和阀杆的旋转角度。由此可想象出阀体的形状如图 9.38 所示。

（3）分析尺寸。根据以上对零件各部分的分析，阀体结构形状比较复杂，标注的尺寸很多，这里仅分析其中的一些主要尺寸，其余的尺寸请读者自行分析。

以阀体水平孔的轴线为径向尺寸基准，它同时也是高度和宽度方向的尺寸基准，注出水平方向孔的直径尺寸∅50H11$\left({}^{+0.16}_{0}\right)$和∅43、∅35、∅20、∅28.5、∅32，以及 M36×2-6g 等。同时也由这个径向基准注出了阀体下部的侧垂圆柱面的外形尺寸∅55。

以阀体铅垂孔的轴线为径向尺寸基准，它同时也是长度和宽度方向的尺寸基准，注出∅36、M24×1.5-7 H 、∅22H11$\left({}^{+0.13}_{0}\right)$和∅18H11$\left({}^{+0.11}_{0}\right)$等。同时注出铅垂孔轴线到左端面的距离 $21^{\ 0}_{-0.13}$。

以过铅垂孔的轴线为长度方向的尺寸基准在水平轴线上向右 8，就是阀体的球形外轮廓的球心，在俯视图中由球心注出球半径 *SR*27.5；向左 $21^{\ 0}_{-0.13}$ 就是阀体的左端面。将左端面作为长度方向的第一辅助基准，注出尺寸 41 和 75，再将由这两个尺寸确定的∅35 的圆柱形槽底和阀体右端面为长度方向的第二辅助基准，注出其余长度尺寸。

以阀体的水平轴线和铅垂轴线确定的正平面为宽度方向尺寸基准，注出阀体前后对称的左端方形凸缘的宽度尺寸 75 以及四个圆角和螺孔的宽度方向定位尺寸 49，同时在俯视图上注出前后对称的扇形限位块的角度尺寸 90°±1°。

以通过阀体的水平轴线的水平面为高度方向尺寸基准，注出左端方形凸缘的高度尺寸 75，四个圆角和螺孔的高度方向定位尺寸 49，以及扇形限位块顶面的定位尺寸 $56^{+0.46}_{\ 0}$，然后以限位块顶面为高度第一辅助基准，注出有关尺寸 2、4 和 29；再以由尺寸 29 确定的垂直台阶孔的∅22*H*11 槽底为高度方向的第二辅助基准，注出 13，由此再注出螺纹退刀槽的尺寸 3。

（4）了解技术要求。通过以上分析可以看出，阀体中比较重要的尺寸都标注偏差数值，与此对应的表面粗糙度要求也较高，*Ra* 值一般为 6.3μm。阀体左端的阶梯孔∅50 虽与阀盖有配合关系，但阀体与阀盖间有调整垫，在垂直台阶孔的∅22 槽底与聚四氟乙烯填料之间也设有填料垫，所以相应的表面粗糙度要求不必很严，*Ra* 值为 12.5μm。零件上不太重要的加工表面的表面粗糙度 *Ra* 值一般为 25μm。

主视图中对于阀体的形位公差要求是：空腔∅35 槽的右端面相对∅35 圆柱槽轴线的垂直度公差为 0.06mm，∅18H11（$^{+0.11}_{0}$）圆柱孔轴线相对∅35 圆柱槽轴线的垂直度公差为 0.08mm。

此外，在图中还用文字补充说明了有关热处理和未注铸造圆角 $R1 \sim R3$ 的技术要求。

(5) 综合分析。阀体是球阀系统中的主要零件，其质量的好坏直接关系到球阀系统的性能和使用，加工时应特别注意。阀体的制造过程大致是经过铸造、时效、车削、镗孔、攻螺纹等工序。

9.6　零件测绘

零件的测绘就是依据实际零件画图、测量尺寸和制定技术要求。测绘时，首先画出零件草图(徒手图)，然后根据零件草图画出零件图，为设计机器、修配零件等创造条件。

9.6.1　零件测绘的方法和步骤

零件测绘的方法和步骤如下。

(1) 分析零件，确定表达方案。首先对该零件进行详细分析，了解该零件的名称和用途；鉴定该零件是由什么材料制成的；对该零件进行结构分析和工艺分析。其次拟定该零件的表达方案，根据零件的形体特征、内外结构的特点确定主视图、视图数量和表达方法。

(2) 绘制零件草图。零件草图必须具有正规图所包含的全部内容。画零件草图的具体步骤如下。

① 确定各视图位置，画出基准线、中心线。留出标注尺寸、右下角标题栏的位置。

② 画出零件的外部及内部的结构形状。

③ 注出零件表面结构符号，选择基准、画尺寸界限、尺寸线；检查、描深。

④ 测量尺寸，定出技术要求，并记入图中。

应把零件上全部尺寸集中一起测量，使有联系的尺寸能联系起来，可提高工作效率，避免错误和遗漏尺寸。

(3) 由零件草图绘制零件工作图。画零件图时，需对零件草图再进行校核。表达方案是否完整、清晰和简便；零件上的结构形状是否有多、有少、损坏、瑕疵等情况；尺寸标注是否完整、合理和清晰；技术要求是否满足零件的性能要求，而且经济效益较好。有些问题需要计算，查阅国家标准、设计手册选用，如表面结构、公差、材料等；也有些问题需要重新加以考虑，如表达方案的选择、尺寸的标注等。画零件图的方法步骤如下。

① 选比例：根据实际零件的复杂程度选择比例(尽量用 1∶1)。

② 选图幅：根据表达方案、比例，留出标注尺寸和技术要求的位置，选择标准图幅。

③ 画底稿：画各视图的基准线，画出图形，标注尺寸，注写出技术要求，填写标题栏。

④ 校核。

⑤ 描深。

⑥ 审核。

9.6.2　常用的测量工具及测量方法

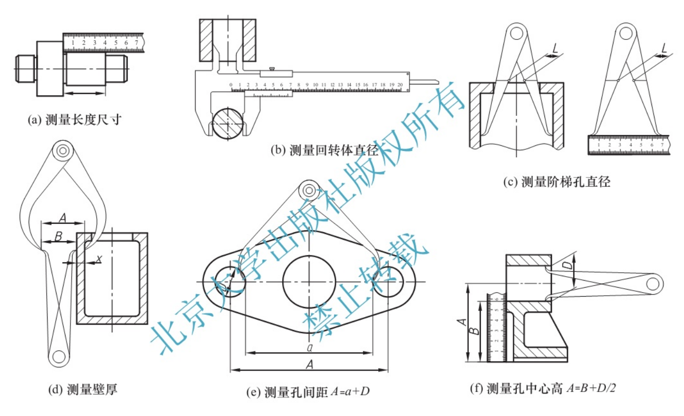
测量尺寸用的简单工具有直尺和外、内卡钳；测量较精密的零件时，要用游标卡尺、千分尺或其他工具。常用的测量方法有以下几种。

(1) 测量长度尺寸：一般可用直尺或游标卡尺直接量得尺寸的大小，如图 9.39(a)所示。

(2) 测量回转体的直径：一般可用卡钳、游标卡尺或千分尺，如图 9.39(b)、(c)所示。

(3) 测量壁厚：一般可用卡钳或卡钳与直尺配合使用，如图 9.39(d)所示。

(4) 测量孔间距：可用游标卡尺、卡钳或直尺测量，如图 9.39(e)所示。



(a) 测量长度尺寸　(b) 测量回转体直径　(c) 测量阶梯孔直径　(d) 测量壁厚　(e) 测量孔间距 $A=a+D$　(f) 测量孔中心高 $A=B+D/2$

图 9.39　常用的测量方法

(5) 测量轴孔中心高：一般可用直尺和卡钳或游标卡尺，如图 9.39(f)所示。

(6) 测量圆角：可用圆角规测量。

(7) 测量螺纹：测量螺纹要测出直径和螺距的数据，然后查手册取标准值。螺距可用螺纹规或拓印法测量。

复习思考题

1. 试述零件图的作用和应具备的内容。
2. 零件图的视图选择的原则是什么？怎样选定主视图？试述视图选择的方法和步骤。
3. 零件上的哪一些面和线常用作尺寸基准？
4. 零件的尺寸标注应满足什么要求？它与组合体的尺寸标注有什么质的差别？

5. 什么是表面粗糙度？它有哪些符号？分别代表什么意义？

6. 什么叫公差？什么叫偏差？什么叫标准公差？公差带由哪两个要素组成？公差带代号由哪两个代号所组成？

7. 什么叫配合？配合有几种？配合制度规定分哪两种基准制？

8. 什么是形状和位置公差？形状和位置公差各有哪些项目？它们分别用什么符号表示？

9. 试简述读零件图的步骤和方法。

第10章 装 配 图

装配图是表示机器及组成该机器各部件的连接、装配关系的图样，在装配图中应表明机器或部件的工作原理、必要的尺寸、各零件之间的相对位置、连接方式、装配关系、有关的技术要求、零件的序号与明细栏、标题栏等。表示一个部件的装配图称为部件装配图；表示一台完整机器的图样，则称为总装配图。

装配图是生产中重要的技术文件，在进行产品设计时，一般先画出装配图、然后根据装配图绘制零件图；在产品制造中，则是根据装配图把加工制成的零件装配成机器或部件；同时，装配图又是安装、调试、操作和检修机器或部件的重要参考资料。

10.1 装配图的内容和视图表达方法

10.1.1 装配图的内容



图 10.1 球阀轴测图

图 10.2 是图 10.1 所示球阀的装配图，球阀是管道系统中控制流体流量和开启关闭的部件，共由 12 种零件组成。当球阀的阀芯处于图 10.2 所示的位置时，阀门全部开启，管道畅通。转动扳手带动阀杆和阀芯旋转 90°时，则阀门全部关闭，管道断流。现以球阀为例说明装配图的内容。

1. 一组视图

用一组视图表达机器或部件的工作原理、零件间的装配关系、连接方式，以及主要零件的结构形状。如图 10.2 所示球阀装配图中的主视图采用全剖视，反映球阀的工作原理和各主要零件间的装配关系；俯视图表示主要零件的

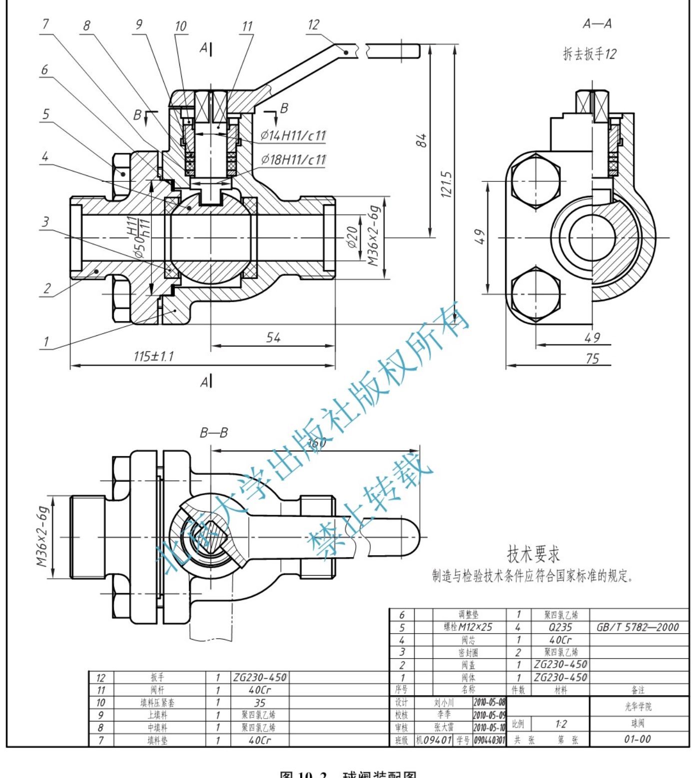


图 10.2　球阀装配图

外形，并采用局部剖视表示扳手与阀体的连接关系；左视图采用半剖视，表达阀盖的外形以及阀体、阀杆、阀芯间的装配关系。

2. 必要的尺寸

必要的尺寸包括机器或部件的规格(性能)尺寸、零件间的配合尺寸、外形尺寸、机器或部件的安装尺寸以及设计时确定的其他重要尺寸。

3. 技术要求

用文字或符号说明机器或部件的装配、安装、调试、检验、使用与维护等方面的技术要求。

4. 序号、明细栏和标题栏

在装配图中，必须对每个零件编写序号，并在明细栏中依次列出零件序号、名称、数量、材料等。在标题栏中写明装配体名称、图号、绘图比例以及设计、制图、审核人员的签名和日期等。

10.1.2　装配图的表示方法

第 7 章所讲述的机件常用的基本表示法在装配图中也同样适用。但由于部件是由若干零件组成的，装配图主要用来表达机器或部件的工作原理和装配、连接关系，因此与零件图比较，装配图还有下述的一些特殊表示法。

1. 拆卸画法和沿结合面剖切画法

在装配图中，当某零件遮住了所需表达的其他零件时，允许假想将一个或若干个零件拆卸后绘制，这种画法称为拆卸画法。如图 10.2 中的左视图是拆去扳手 12 后画出的，但如果被拆卸的零件是主要零件必须在其他图中表达清楚，否则必须单独画出。

如果是沿某些零件的结合面剖切，在零件的结合面上不画剖面线，但被剖切到的其他零件仍应画剖面线，这种画法称为沿结合面剖切画法。如图 10.15(f)所示齿轮油泵装配图中的左视图，就是沿泵体和垫片的结合面剖切后画出的半剖视图。结合面不画剖面线，但被剖切到的齿轮轴、螺钉和销应画剖面线。

2. 假想画法

为了表示运动零件的极限位置、部件和相邻零、部件的相互关系，可以用双点画线画出其轮廓，这种画法称为假想画法。如图 10.2 所示的球阀的俯视图用双点画线画出了扳手的一个极限位置。

3. 夸大画法

对薄片零件、细丝弹簧、微小间隙等，若按它们的实际尺寸在装配图中很难画出或难以明显表达时，都可不按比例而夸大画出，这种画法称为夸大画法。如图 10.2 所示球阀的调整垫厚度，就是夸大画出的。

4. 规定画法和简化画法

为了表示几个零件及其装配关系，必须遵守装配图画法的三条基本规定。具体内容与 8.2 节中所述螺纹紧固件的装配画法的三条基本规定相同。

在装配图中，零件的工艺结构，如倒角、圆角、退刀槽等可不画出。对于若干相同的零件组，如螺栓连接等，可详细地画出一组或几组，其余只需用点画线表示其装配位置即可。

10.2 装配图的尺寸标注及零件序号、明细栏

10.2.1 装配图的尺寸标注

装配图不是制造零件的直接依据。因此，装配图中不需注出零件的全部尺寸，而只需标注出一些必要的尺寸，这些尺寸按其作用不同，大致可以分为以下几类，仍以图 10.2 所示球阀装配图中的一些尺寸为例，说明如下。

(1) 性能(规格)尺寸：表示机器或部件性能(规格)的尺寸，在设计时就已经确定，也是设计、了解和选用该机器或部件的依据，如图 10.2 中球阀的公称直径ø20。

(2) 装配尺寸：包括保证整个零件间配合性质的尺寸，保证零件间相对位置的尺寸，装配时进行加工的有关尺寸等，如图 10.2 中阀盖和阀体的配合尺寸ø50H11/h11 等。

(3) 安装尺寸：机器或部件安装时所需的尺寸，如图 10.2 中与安装有关的尺寸：84、54、M36×2－6g 等。

(4) 外形尺寸：表示机器或部件外形轮廓的大小，即总长、总宽和总高。它为包装、运输和安装过程所占的空间大小提供了数据。如图 10.2 中球阀的总长、总宽和总高为 115±1.1、75 和 121.5。

(5) 其他重要尺寸：在设计中确定，又不属于上述几类尺寸的一些重要尺寸，如运动零件的极限尺寸、主体零件的重要尺寸等。

上述五类尺寸之间并不是孤立无关的。实际上有的尺寸往往同时具有多种作用，如球阀中的尺寸 115±1.1，它既是外形尺寸，又与安装有关。此外，一张装配图中有时也并不全部具备上述五类尺寸。因此，对装配图中的尺寸需要具体分析，然后进行标注。

10.2.2 装配图中零件序号和明细栏

为了便于读图，便于图样管理，以及做好生产准备工作，装配图中的所有零、部件都必须编写序号，同一装配图中相同的零、部件(即每一种零、部件)只编写一个序号，同时在明细栏中填写与图中序号一一对应的序号。

1. 编写序号的方法

(1)编写序号的常见形式如下：在所指的零、部件的可见轮廓内画一圆点，然后从圆点开始画指引线(细实线)，在指引线的另一端画一水平线或圆(也都是细实线)，在水平线上或圆内注写序号，序号的字高应比尺寸数字大一号或两号，如图 10.3(a)所示；对很薄的零件或涂黑的断面，可在指引线末端画箭头，并指向该部分的轮廓，如图 10.3(b)所示。

(2) 指引线相互不能相交；当它通过有剖面线的区域时，不应与剖面线平行；必要时，指引线可以画成折线，但只允许曲折一次，如图 10.3(c)所示。

(3) 一组紧固件以及装配关系清楚的零件组，可采用公共指引线，如图 10.3(d)所示。

(4) 装配图中的标准化组件(如油杯、滚动轴承、电动机等)看作为一个整体，只编写

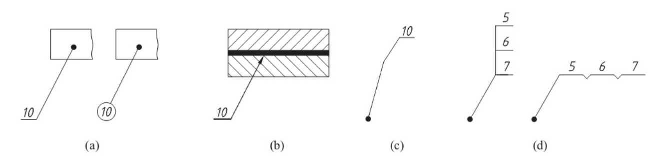


图 10.3 零件序号的编写形式

一个序号。

(5) 零、部件序号应沿水平或垂直方向按顺时针(或逆时针)方向顺次排列整齐，并尽可能均匀分布，如图 10.2 所示。

(6) 部件中的标准件，可以与非标准零件同样地编写序号，如图 10.2 所示 5 号件；也可以不编写序号，而将标准件的数量与规格直接用指引线标明在图中。

2. 明细栏

明细栏是机器或部件中全部零、部件的详细目录，应画在标题栏的上方，零、部件的序号应自下而上填写。位置不够时，可将明细栏分段画在标题栏的左方。当明细栏不能配置在标题栏的上方时，可作为装配图的续页，按 A4 幅面单独绘制，其填写顺序应自上而下。

请读者对照 GB/T 4458.2—2003《机械制图 装配图中零、部件序号及其编排方法》查阅。

10.3 装配结构的合理性简介

在设计和绘制装配图的过程中，应该考虑到装配结构的合理性，以保证机器和部件的性能，并给零件的加工和装拆带来方便。确定合理的装配结构，必须具有丰富的实际经验，并作深入细致的分析比较。现举例说明如下，以供画装配图时学习参考。

10.3.1 接触面与配合面的结构

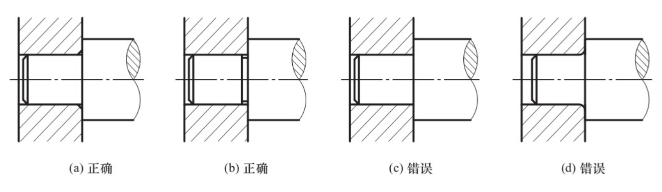
(1) 当轴和孔配合，且轴肩与孔的端面相互接触时，应在孔的接触端面制成倒角或在轴肩根部车槽，以保证两零件接触良好。在接触面的交角处不应都做成尖角或大小相同的圆弧，图 10.4 所示为轴肩与孔的端面相互接触时的正误对比。

(2) 当两个零件接触时，在同一方向上的接触面，最好只有一个(即 $D_1 > D_2$)，这样既可满足装配要求，制造也较方便。图 10.5(a)、(d)所示为平面接触的正误对比。

(3) 如图 10.5(d)、(e)所示为轴和孔的配合，由于$\varnothing A$ 已经形成配合，$\varnothing B$ 和$\varnothing C$ 就不应再形成配合关系，即$\varnothing B>\varnothing C$。

(4) 为了保证接触良好，接触面需经机械加工。因此，合理的减少加工面积，不但可以降低加工成本，而且可以改善接触状况。

① 为了保证紧固件(螺栓、螺母、垫片)和被连接件的良好接触，在被连接件上做出



(a) 正确　(b) 正确　(c) 错误　(d) 错误

图 10.4　轴肩与孔的端面互接触时的画法

接触面　D_1　D_2　ϕB　ϕC　ϕA　不接触面　在径向只允许有一个配合面

(a) 正确　(b) 错误　(c) 错误　(d) 正确　(e) 错误

图 10.5　接触面与配合面的画法

(a) 沉孔　(b) 凸台　A　挖一凹槽减少加工面　(c) 减少加工面

图 10.6　合理减少加工面的画法

沉孔、凸台等结构，如图 10.6(a)、(b)所示。沉孔的尺寸可根据紧固件的尺寸从有关手册中查取。

② 为了保证接触良好减少接触加工面，轴承底座底部挖一凹槽，如图 10.6(c)所示。

10.3.2　拆装方便的合理性

当零件用螺纹紧固件连接以及用轴肩或孔肩定位滚动轴承时，应注意拆装的可能性，如图 10.7～图 10.9 所示。

(a) 合理　(b) 不合理　(c) 合理　(d) 不合理

图 10.7　要留出扳手活动空间和拆装螺钉的空间

(a) 合理　(b) 不合理

图 10.8　要留出拆装螺钉的空间

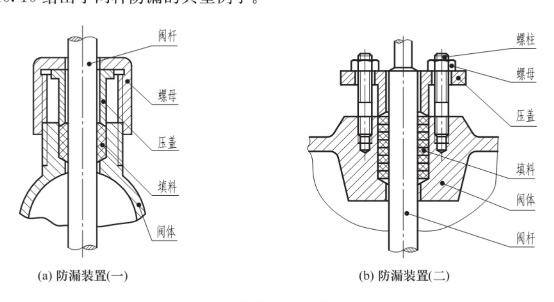
孔径过小　轴肩过高

(a) 合理　(b) 不合理　(c) 合理　(d) 不合理

图 10.9　滚动轴承合理结构

10.3.3　防漏的结构

在部件中，为了防止内部液体外漏或防止外部灰尘、杂质侵入，要采用密封防漏措施，图 10.10 给出了两种防漏的典型例子。



(a) 防漏装置(一)　(b) 防漏装置(二)

图 10.10　防漏结构

10.4　部件的测绘

部件测绘的目的是为了设计新产品提供参考图样或为了补充图样和制作备件而进行的一项工作，是工程技术人员必须掌握的一项基本技能。通常情况下按下述步骤进行。

1. 对测绘部件全面了解分析

首先，应该了解测绘部件的目的和任务，决定测绘工作的内容和要求。例如，为了设计新产品提供参考图样，测绘时可进行修改；如为了补充图样或制作备件，测绘时必须准确测绘，不得做任何修改。其次，通过阅读有关技术文件、资料和同类产品图样，甚至直接向有关人员广泛了解使用情况，分析部件的构造、功用、工作原理、传动系统、大体的技术性能和使用运转情况，并检测有关的技术性能指标和一些重要的装配尺寸，如零件间的相对位置尺寸，极限尺寸以及装配间隙等，为下一步拆卸工作和测绘工作做准备。

2. 拆卸零件

首先，要制定周密的拆卸顺序，根据部件的组成情况及装配工作的特点，把部件分成几个组成部分，依次拆卸，并用打钢印、捆绑标签或写件号等方法对每一个部件和零件编上件号，分区分组地放置在规定的地方，避免损坏、丢失、生锈或乱放，以便测绘后重新装配时，能保证部件的性能和要求。例如，如图 10.11 所示的齿轮油泵的拆卸顺序为：

① 拆去螺母 14 及垫圈 13；

② 拆去传动齿轮 12、键 15、压紧螺母 11；

③ 拆去销 5、螺钉 1(右、左两侧分别拆)；

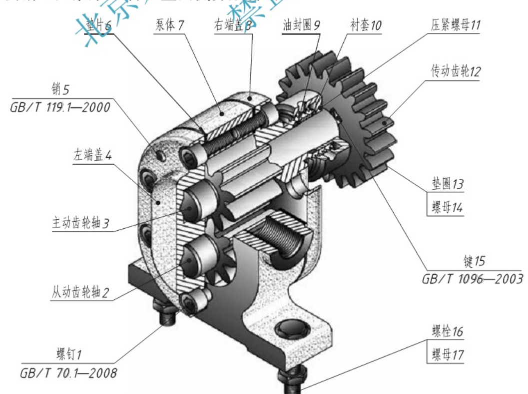


图 10.11　齿轮油泵轴测图

④ 拆去衬套 10、油封圈 9；

⑤ 拆去右端盖 8、主动齿轮轴 3、从动齿轮轴 2；

⑥ 拆去左端盖 4、垫片 6、螺母 17、螺栓 16。

其次，拆卸工作要有相应的工具和正确的拆卸方法，保证顺利拆卸。对不可拆卸连接和过盈配合的零件尽量不拆，以免损坏零件，保证部件原有的完整性、精确性和密封性。

3. 画装配示意图

在全面了解零件后，拆卸前先大体绘制装配示意图。因为只有在拆卸后才能显示出零件间的真实装配关系。因此，拆卸时必须一边拆卸，一边补充、更正画出的装配示意图，记录各零件间的装配关系，并对各个零件编号(注意要和零件标签上的编号一致)，还要确定标准件的规格尺寸和数量，并及时标注在示意图上。如图 10.12 所示为齿轮油泵装配示意图。

装配示意图一般用简单的图线，运用机械制图国家标准中规定的机构及其主件的简图符号，并采用简化画法和习惯画法，画出零件的大致轮廓。如图 10.12 所示的齿轮油泵示意图。画装配示意图时，一般可从主要零件入手，然后按装配顺序再把其他零件逐个画上。通常对各零件的表达不受前后层次，可见与不可见的限制。尽可能把所有零件集中画在一个视图上。如有必要，也可补充其他视图。

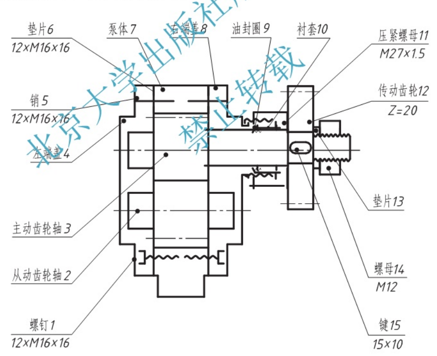


图 10.12　齿轮油泵装配示意图

4. 画零件草图

测绘工作往往受时间及工作场地的限制。因此通常徒手画出各个零件的草图，根据零件草图和装配示意图画出装配图，再根据装配图拆画零件图。零件草图的内容和要求见第 9 章。如图 10.13 所示为完成后的齿轮油泵的零件草图。

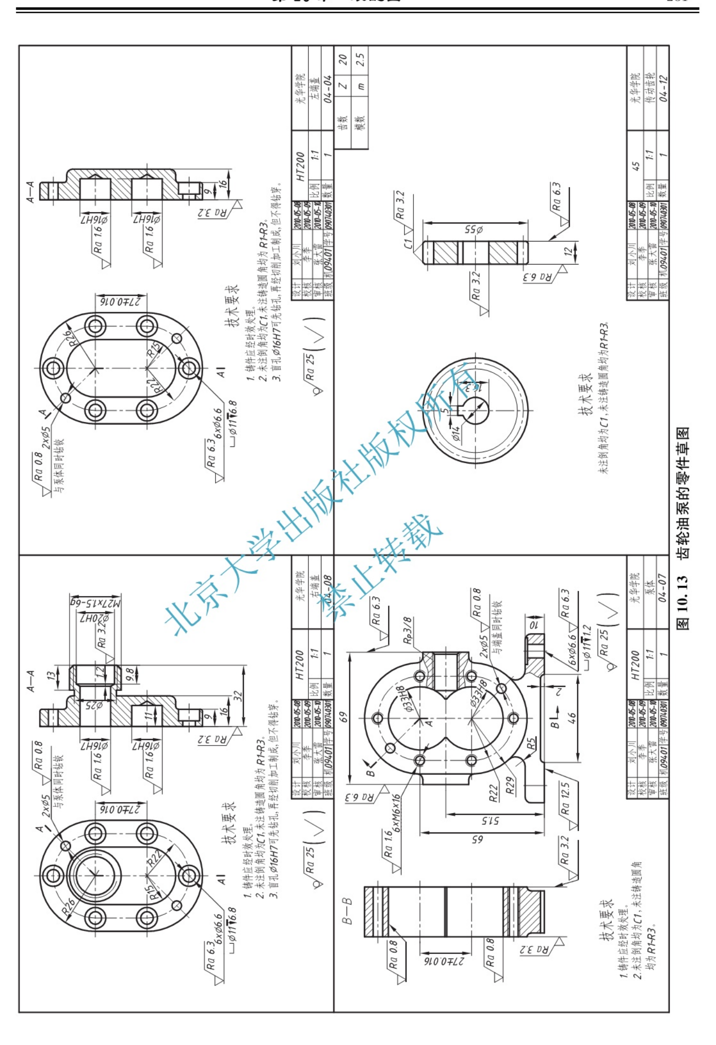


图 10.13 齿轮油泵的零件草图

技术要求
未注倒角均为C1。

图 10.13　齿轮油泵的零件草图(续)

10.5　根据零件图画装配图

部件是由若干零件装配而成的，根据这些零件图及有关资料，可以看清各零件的结构形状，了解装配体的用途、工作原理、连接和装配关系，然后拼画成部件的装配图。现以图 10.11 所示的齿轮油泵为例，说明由零件图画装配图的方法和步骤。齿轮油泵各主要零件的零件草图如图 10.13 所示。还有一些标准件的零件图可通过查有关手册得出。具体由零件草图画装配图步骤如下。

1. 了解部件的装配关系和工作原理

对部件实物或图 10.11 所示齿轮油泵的轴测装配图进行仔细分析，了解各零件间的装配关系和部件的工作原理。

齿轮油泵的装配关系是：泵体 7 是齿轮油泵中的主要零件之一，它的内腔容纳一对吸油和压油的齿轮。将从动齿轮轴 2、主动齿轮轴 3 装入泵体后，两侧有左端盖 4、右端盖 8 支承这一对齿轮轴的旋转运动。由销 5 将左、右端盖与泵体定位后，再用螺钉 1 将左、右端盖与泵体连接成整体。为了防止泵体与端盖结合面处以及主动齿轮轴 3 伸出端漏油，分别用垫片 6 及油封圈 9、衬套 10、压紧螺母 11 密封。从动齿轮轴 2、主动齿轮轴 3、传动齿轮 12 等是油泵中的运动零件。当传动齿轮 12 按逆时针方向(从左视图观察)转动时，通过键 15 将扭矩传递给主动齿轮轴 3，经过齿轮啮合带动从动齿轮轴 2，从而使后者作顺时针方向转动。

齿轮油泵的工作原理如图 10.14 所示，当一对齿轮在泵体内作啮合传动时，啮合区内右边空间的压力降低而产生局部真空，油池内的油在大气压力作用下进入油泵低压区内的吸油口，随着齿轮的转动，齿槽中的油不断沿箭头方向被带至左边的压油口把油压出，送至机器需要润滑的部分。

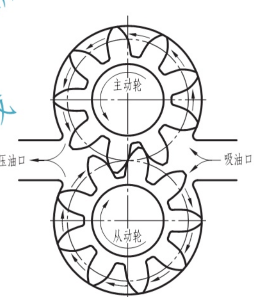


图 10.14　齿轮油泵工作原理图

2. 确定表达方案

画装配图与画零件图一样，应先确定表达方案，根据已学过的机件的各种表达方法(包括装配图的特殊表示方法)，考虑选用哪一些表示方法能较好地反映出部件的装配关系、工作原理和主要零件的结构形状，实质上也就是视图选择、确定表示方法。

(1) 装配图的主视图选择及其表示法确定。

在主视图选择及其表示法确定的同时，要确定部件画图的摆放位置以便更好地表达机件，部件的摆放位置应与部件的工作位置相符合，这样对于设计和指导装配都会带来方便。如果遇到某种部件的工作位置变化多变，此时选其中一种最常用的工作位置，如图 10.2 所示的球阀，一般是将其通路放成水平位置。当部件的工作位置确定后，接着就

选择部件的主视图投射方向。经过比较，应选用以能清楚地反映主要装配关系和工作原理的那个视图作为主视图，并采取适当的剖视，比较清晰地表达各个主要零件以及零件间的相互关系。在图10.15(f)中所选定的齿轮油泵的主视图为全剖视图，就体现了上述选择主视图的原则。

(2) 其他视图的选择及其表示法确定。

根据确定的主视图，再选取其他视图来补充主视图没有表达清楚的其他装配关系、内外形结构。如图10.15(f)所示，齿轮油泵的主视图是沿前后对称面完全剖开的，虽清楚地反映了各零件间的主要装配关系，但是泵体上的吸油口和出油口(压油口)没有反映出来，进而工作原理无法表达清楚。于是选取半剖左视图，补充反映了它的外形结构以及吸油口及出油口和两个齿轮轴之间的关系，清楚地反映了齿轮油泵的工作原理。

3. 画装配图

(1) 定比例、定图幅、画图框、合理布图、画出基准线。确定了部件的表达方案后，根据视图表达方案以及部件的大小与复杂程度，选取适当比例，从而选定图幅，画出基准线确定各视图的位置，便可着手画图。在确定各视图的位置时，要注意留有供编写零、部件序号、明细栏，以及注写尺寸和技术要求的位置。

(2) 画图顺序和方式的选择。

① 画图顺序通常有两种：几个视图相互配合一起画；先画某一视图，再画其他视图。

② 画图方式通常有两种：由内向外画和由外向内画。

由内向外画的优点是从内层实形零件(或主要零件)画起，按装配顺序逐步向外扩展，层次分明，并可避免多画被遮挡零件的不可见轮廓线，图形清晰。

由外向内画的优点是便于从整体结构出发合理布局。

画图时，无论采取哪种方式绘图都应本着作图方便而定。

③ 画图路线。按照装配干线来绘图。由于机器或部件是由一些主要和次要装配干线组成，所谓的装配干线是指一般在机器或部件中，将组装在同一轴线上的一系列相关零件称为装配干线。因此，先画出各视图的主要装配干线的轴线、对称中心线和作图基准线(某些零件的基面或端面)。

④ 按选定的画图路线和方式画图。底稿线完成后，需经校核，再加深，画剖面线，注尺寸。最后，编写零、部件序号，填写明细栏，再经校核，签署姓名。

(3) 需注意的问题。

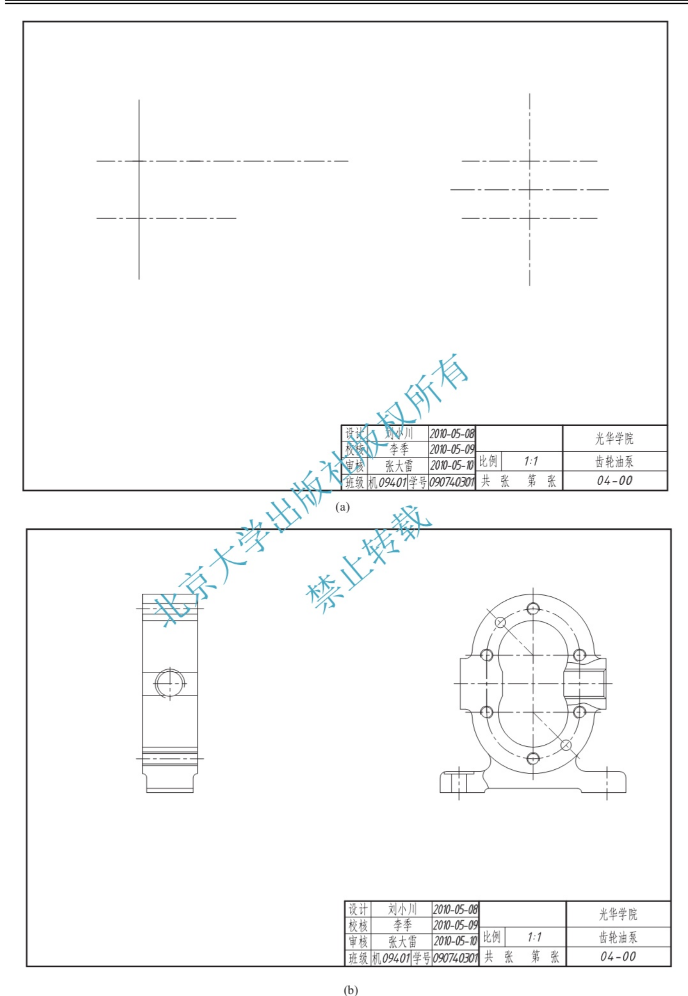
① 各视图间要符合投影关系。

② 先画出部件的主要结构形状，再画次要结构部分。

③ 画零件时，随时检查零件间的正确装配关系。哪些面为配合面，哪些面为接触面，哪些面为非配合面(应留有间隙)，哪些面为非接触面，必须正确判断并相应画出。配合面、接触面画一条线；非配合面、非接触面画两条线。

④ 标注尺寸时，特别注意配合面的尺寸，要根据配合的要求合理地选择配合种类。

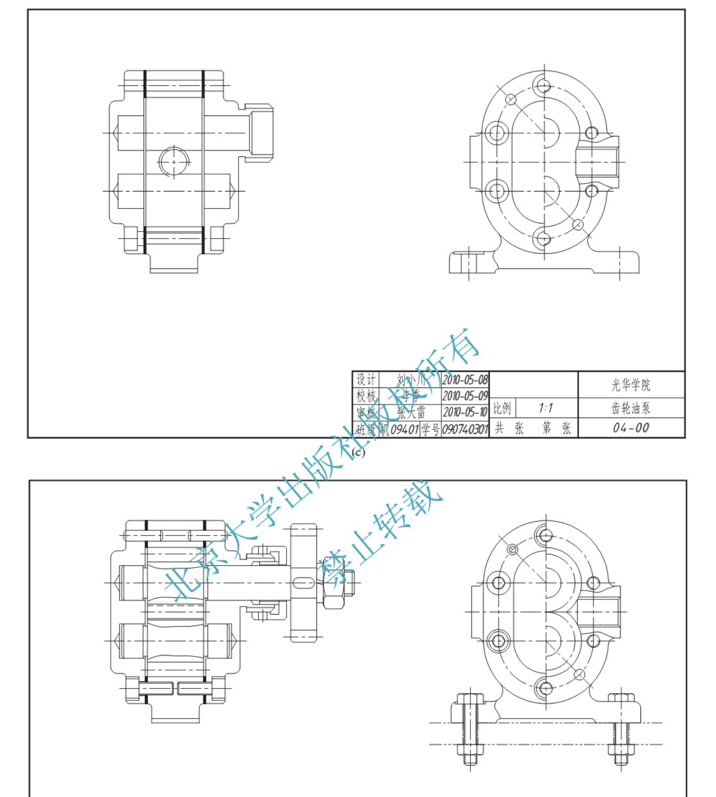
⑤ 在使用AutoCAD绘图时，预先要对各种图线、文字、尺寸的图层设定和尺寸标注管理器、文本风格等参数的设置，然后按照需要选定图层进行画图。



(a)

(b)

图 10.15　画齿轮油泵装配图的步骤



(c)

(d)

图 10.15　画齿轮油泵装配图的步骤(续)

设计	刘小川		2010-05-08		光华学院
校核	李季		2010-05-09	比例　1:1	齿轮油泵
审核	张大雷		2010-05-10		
班级	机09401	学号	090740301	共　张　第　张	04-00

(e)

技术要求

1. 齿轮安装后，用手转动传动齿轮时，应灵活旋转。
2. 两齿轮轮齿的啮合面占齿长的3/4以上。

17	螺母M6	2	Q235	GB/T 6170—2000	6	垫片	2	F4	δ=1
16	螺栓M6×30	2	15Cr	GB/T 5782—2000	5	销5×18	4	45	GB/T 119.2—2000
15	键5×10	1	45	GB/T 1096—2003	4	左端盖	1	HT200	
14	螺母M12	1	Q235	GB/T 6170—2000	3	主动齿轮轴	1	45	m=3　z=9
13	垫圈12	1	65Mn	GB/T 93—1987	2	从动齿轮轴		45	m=3　z=9
12	传动齿轮	1	45	m=2.5　z=20	1	螺钉M6×16	12	35	GB/T 70.1—2008
11	压紧螺母	1	35		序号	名称	件数	材料	备注
10	衬套	1	ZCuSn5Pb5Zn5		设计	刘小川	2010-05-08		光华学院
9	封油圈	1	NBR		校核	李季	2010-05-09		
8	右端盖	1	HT200		审核	张大雷	2010-05-10	比例　2:1	齿轮油泵
7	泵体	1	HT200		班级	机09401　学号	090740301	共　张　第　张	04-00

(f)

图 10.15　画齿轮油泵装配图的步骤(续)

画齿轮油泵装配图的具体步骤如图 10.15 所示。

(1) 画出各视图的主要轴线，对称中心线及作图基线，如图 10.15(a)所示。

(2) 先画轴线上的主要零件(泵体)的轮廓线，两个视图要联系起来画，如图 10.15(b)所示。

(3) 根据左端盖、右端盖和泵体的相对位置，沿水平轴线画出阀盖的主、左视图，如图 10.15(c)所示。

(4) 沿两水平轴画出主动、从动齿轮轴再沿主动齿轮轴画出油封圈、衬套、压紧螺母、传动齿轮、健、垫圈和螺母，如图 10.15(d)所示。

(5) 检查、标出剖切位置和剖视图名称、绘出剖面符号，如图 10.15(e)所示。

(6) 标注尺寸、编写序号、明细栏和标题栏，如图 10.15(f)所示。

10.6　装配图的识读

读装配图的目的，是从装配图中了解机器或部件中各个零件的装配关系和机器或部件的工作原理，分析和读懂其中主要零件及其他有关零件的结构形状。在设计时，还要根据装配图画出该机器或部件的零件图。

10.6.1　装配图识读的方法和步骤

装配图识读的方法和步骤如下。

(1) 概括了解。

① 了解机器或部件的名称和用途，可以通过阅读明细栏、说明书获知。

② 了解机器或部件中所含的标准件、零部件和组件，以及非标准件、零部件和组件的名称与数量；对照零、部件和组件序号，在装配图上查找出它们所处的位置。组件是部件中所含的多个零件集成的单元。

③ 对视图进行分析，根据装配图上视图的表达情况，明确视图间的投影关系，剖视图、断面图的剖切位置及投射方向，从而明白各视图的表达重点。

通过以上这些内容的了解，并参阅有关尺寸，对部件有一个概略的印象。

(2) 深入了解装配关系和工作原理。概括了解之后，还要进一步仔细阅读装配图、分析各零件的装配关系，了解各主要零件的结构形状和机器或部件的工作原理。

① 从主视图入手，根据各装配干线，对照零件在各视图中的投影关系，利用每个零件在各个剖视图上的剖面线一致的原则，再结合零件的名称联想它的功用并结合视图的投影规律，分清零件的投影轮廓范围，并判断出其形状。

② 利用对称零件的结构特点和相互连接零件接触面的形状应大致相同的规律，想象零件的结构形状，如图 10.15(f)所示齿轮油泵中的左、右端盖和泵体接触表面的形状相同。

③ 由装配图上所标注的配合代号，弄清零件间的配合关系，分析其工作原理。

④ 根据常见结构的表达方法和标准件、常用件的规定画法来识别零件的结构形状，如油杯、螺纹、齿轮、轴承、弹簧、密封结构等。

⑤ 根据零件的序号对照明细栏，找出零件数量、材料、规格，帮助了解零件的作用

进而联想其形状。

对照视图仔细研究部件的装配关系和工作原理，是读装配图的一个重要环节。在概括了解的基础上，分析各条装配干线，弄清零件间相互配合的要求，以及零件间的定位、连接方式、密封等问题。再进一步了解运动零件与非运动零件的相对运动关系。经过这样的观察分析，就可以对部件的工作原理和装配关系有所了解。

(3) 分析零件，读懂零件的结构形状。分析零件，就是了解每个零件的结构形状及其作用。一台机器或部件上有标准件、常用件和一般零件。对于标准件和常用件一般是容易看懂的，但一般零件有简有繁，它们的作用和地位各不相同，对于这类零件一般先从主要零件着手，运用上述五条分析方法逐个确定零件的投影范围、想出零件的结构形状，分析出零件的功能、装配关系。当零件在装配图中表达不完整时，可对有关的其他零件仔细观察和分析，然后再作结构分析，从而确定该零件的内外形状。

(4) 归纳总结。在对装配关系、各零件的结构形状和工作原理分析的基础上，还要对技术要求、全部尺寸进行分析研究，进一步了解机器或部件的设计意图和装配工艺。

10.6.2　装配图识读举例

1. 读镜头架装配图

读镜头架装配图的步骤如下。

(1) 概括了解。通过调查研究和查阅有关资料可知：镜头架是电影放映机上用来放置放映镜头和调整焦距使图像清晰的一个部件。从图 10.16 中可以看出，它由 10 种零件(6 种非标准件和 4 种标准件)组成。镜头架的装配图由两个视图表达，主视图用 A—A 阶梯剖，它反映了镜头架的装配关系和工作原理；左视图采用 B—B 局部剖视，从这里可以看到镜头架的外形轮廓，以及调节齿轮 6 与内衬圈 2 上的齿条相啮合的情况。

经过初步观察，镜头架的外形尺寸：长度、高度和架体的宽度分别是 122.25、99、60，可知这个部件体积不大。镜头架各零件选用的材料是 ZAlSi12(铸造铝合金)、2A12(硬铝)、Q235(碳素结构钢)等。

(2) 了解装配关系和工作原理。镜头架的主视图完整地表达了它的装配关系。从图上可以看到，所有零件都装在主要零件架体 1 上，并由两个销和两个螺钉在放映机上定位、安装，架体 1 的大孔(⌀70)中套有能前后移动的内衬圈 2。架体的水平圆柱孔(⌀22)的轴线是一条主要装配干线，在装配干线上装有锁紧套 5，它们是⌀22H7/g6 的间隙配合。锁紧套内装有调节齿轮 6，当调节齿轮与内衬圈 2 就位后，用螺钉 M3×12 使调节齿轮轴向定位。锁紧套右端的外螺纹处装有锁紧螺母 4，当螺母旋紧时，则将锁紧套 5 拉向右移，锁紧套 5 上的圆柱面槽就迫使内衬圈 2 收缩而锁紧镜头。

当锁紧螺母 4 松锁后，旋转调节齿轮时，通过与内衬圈上的齿条啮合传动，就能带动内衬圈作前后方向的直线移动，从而达到调整焦距的目的。

(3) 分析零件。在这里只分析内衬圈 2、锁紧套 5 和架体 1 的结构形状，其余零件请读者自行阅读分析。

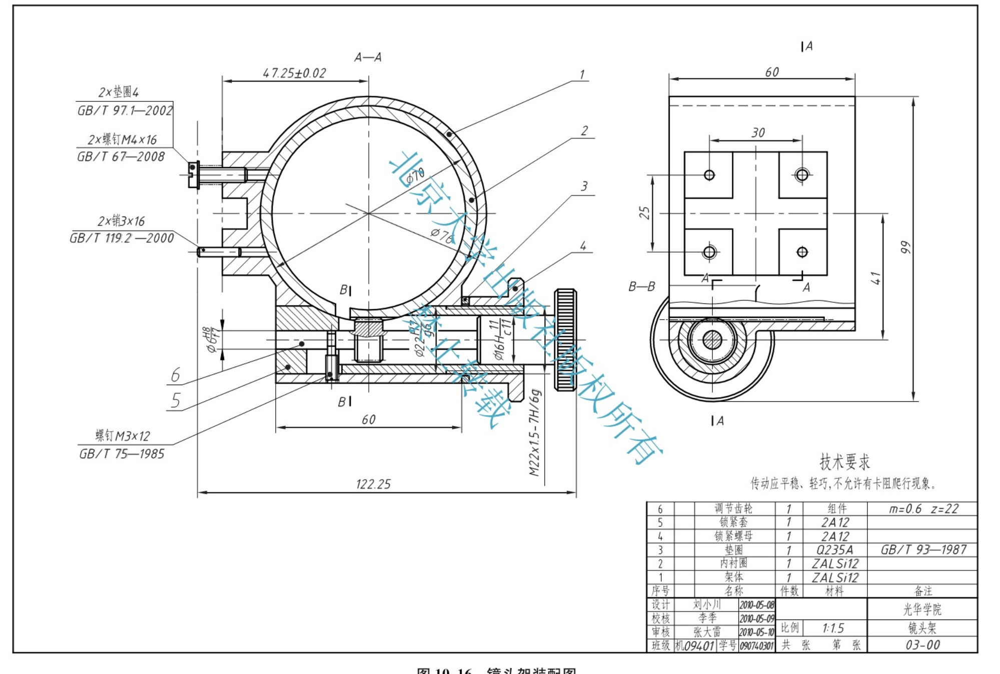


图 10.16　镜头架装配图

内衬圈 2：内衬圈是一个圆柱形的管状零件，在表面上铣有齿条。齿条一端未铣到头，这是调节内衬圈向后移动的极限位置。为了在收紧锁紧套时，使内衬圈变形而锁紧镜头，所以在内衬圈上开了槽。

锁紧套 5：根据剖面线方向和注写的ø22H7/g6，可以想象出这是一个圆柱形的零件，它的内部是大、小两个圆柱形的阶梯孔，右端的孔较大，左端的孔较小；锁紧套上部开有圆柱面槽，与内衬圈的圆柱面相配；在锁紧套下部开有长圆形孔，以便穿过使调节齿轮轴向定位的螺钉。分析上述内容后，可想象锁紧套的结构形状，如图 10.17 所示。

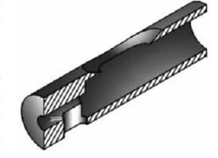


图 10.17　锁紧套

架体 1：架体是镜头架上的主体零件，从装配图中可以看出它的大致结构形状，这个架体主要是由一大一小相互垂直偏交的两个圆筒组成，它们的圆柱孔内壁相交贯通，大圆筒中装入带齿条的内衬圈 2，小圆筒内装入锁紧套 5。为了使架体在放映机上定位、安装，在大圆筒外壁的左侧伸出一个侧垂的四棱柱，并在这个四棱柱的左端面上分别设置有穿通的螺孔和穿通的圆柱销孔的四个方形凸台。小圆柱筒的下部是半个圆柱体，上部是前后壁与半圆柱面相切的四棱柱。在小圆筒的下部半圆柱壁上，有一个穿通的螺孔，它用来旋合紧定螺钉，使调节齿轮轴向定位。

(4) 归纳总结。从技术要求了解到镜头架部件在操作时，应保证传动平稳轻巧。不允许有卡阻爬行现象。通过配合尺寸的分析可以看出该部件是比较精密的传动机构，并且采用的配合均为优先配合。

例如，锁紧套 5 和架体 1 的连接给出ø22H7g6 相应的配合，它属于基孔制优先间隙配合，通常应用于间隙很小的滑动配合或精密定位配合。

调节齿轮 6 和和锁紧套 5 的配合尺寸有两个，分别是ø6H8/f7、ø16H11/c11。它们各是什么样的配合？请读者自行解答。

2. 读卧式柱塞泵装配图

读卧式柱塞泵装配图的具体步骤如下。

(1) 概括了解。卧式柱塞泵是液压泵站中用来给油管路增压的一个部件。图 10.18 所示的卧式柱塞泵是由泵体、传动轴、凸轮、活塞、单向活门(由 2、12、13、14 件组成)、油杯组成。对照零件序号及明细栏可以看出：卧式柱塞泵由 22 种零件装配而成，采用五个视图表达。

主视图采用局部剖视，反映了卧式柱塞泵三条装配干线中的传动轴、凸轮、活塞、单向活门的各主要零件间的装配关系以及泵盖的部分外形。俯视图也采用了两处局部剖，进一步补充表达传动轴、凸轮、活塞以及泵盖与泵体、泵套与泵体的装配连接关系。左视图采用了一处局部剖，清楚地反映了泵体、泵盖、泵套以及单向活门、油杯的外形分布情况和泵体底座四角沉孔的内形。A 向视图和 B—B 剖视图都是用来表达泵体后面外形结构和其右端内部结构。

(2) 深入了解装配关系及工作原理。在弄清各零件的结构形状过程中，工作原理也就逐渐明白了。卧式柱塞泵的工作原理从主、俯视图的投影关系分析可知：外部动力通过键传递给轴 11，它将旋转运动，通过键 4 传递给凸轮 9 使其旋转，凸轮 9 的回转运动传递给

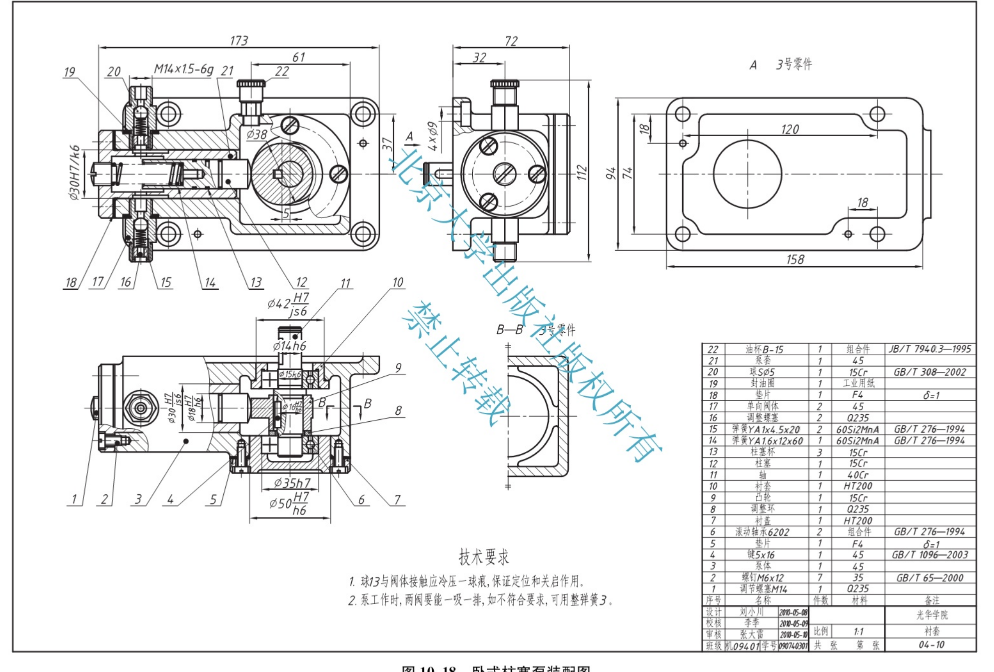


图 10.18　卧式柱塞泵装配图

柱塞 12，当凸轮凸起旋转半径逐渐增大时使其柱塞在泵套 21 内克服弹簧向左运动，当凸轮旋转半径逐渐减小时弹簧释放能量顶住柱塞向右运动，从而实现柱塞在泵套内作往复直线运动。泵体左端上、下各安装了一个单向阀门以保证油液单向进、出，互不干扰。凸轮凸起旋转半径增大将油液增压后通过下部单向阀门输入到油管路中。凸轮旋转半径逐渐减小时将泵外油液吸入。

(3) 分析零件。卧式柱塞泵由 22 种零件装配而成，其中泵体是卧式柱塞泵中一个主要零件，从主、俯、左三视图入手结合向视图“*A*”和剖视图“*B*—*B*”，并利用零件结构对称的特点可分析出泵体的形状。其中从俯、左视图和向视图“*A*”可分析出：泵体后面底板处有安装四个螺栓用的沉孔和两个定位销孔。从主、俯视图和剖视图“*B*—*B*”可分析出泵体内腔的结构形状。其他零件利用读图方法均可分析清楚，请读者自行阅读分析。

(4) 归纳总结。从技术要求中可了解到使用和制造时应注意的问题。从所标注的配合尺寸可分析出零件间的配合情况。例如，泵套 21 和泵体 3 的连接给出了 ø30H7/js6 相应的配合，它属于基孔制优先过渡配合。衬盖 7 和泵体的配合尺寸是 ø50H7/h6；柱塞 12 和泵套 21 的配合尺寸是ø18H7/h6；泵体 3 和主泵套 21 的配合尺寸是ø30H7/k6，它们都是什么样的配合，单向阀的尺寸 M14×1.5－6g 为什么要在装配图中注出，请读者自行解答。图 10.19 所示是卧式柱塞泵的轴测装配图，供读者分析思考后对照参考。

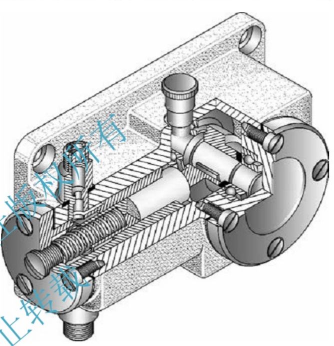


图 10.19　卧式柱塞泵的轴测装配

10.7　根据装配图拆画零件图

根据装配图画出零件图是一项重要的生产准备工作。因为作为任何一部机器或部件在设计过程中，首先是先设计出装配图，然后再根据装配图画出零件图。第 9 章中对零件图的作用、要求和画法均作了详细的介绍。这里仅对根据装配图如何拆画零件图进行介绍。

10.7.1　对拆画零件图的要求

对拆画零件图的要求有以下两点：

(1) 拆画前，必须认真阅读装配图，全面深入地了解设计意图，了解其工作原理、装配关系、技术要求和每个零件的结构形状。

(2) 画图时，不但要从设计方面考虑零件的作用和要求，而且还要从工艺方面考虑制造和装配，应使所画的零件图符合设计和工艺要求，在满足使用要求的前提下，尽可能降低制造成本，以提高市场竞争力。

10.7.2　拆画零件图要注意的问题

拆画零件图要注意以下几个问题。

(1) 零件分类。按照零件的实际情况，通常把零件分为四类。

① 标准件。标准件大多数属于外购件，因此不需要画出零件图，只要按照标准件的规定标记代号列出标准件汇总表即可。

② 借用零件。借用零件是借用定型产品上的零件。对于这类零件，可利用已有的图样，而不必另行画图。

③ 特殊零件。特殊零件是设计时所确定下来的重要零件，在设计说明书中都附有这类零件的图样或重要数据，如汽轮机的叶片、喷嘴。对这类零件，应按给出的图样或数据绘制零件图。

④ 一般零件。这类零件基本上是按照装配图所体现的形状、大小和有关技术要求来画图，是拆画零件图的主要对象。

(2) 表达方案的选择。拆画零件图时，零件的表达方案选择主要是根据零件的结构形状来考虑的，不一定与装配图一致。在大多数情况下，壳体、箱体类零件的主视图所选的零件摆放位置和投射方向与装配图一致。因为装配图中主视图通常也最能将壳体、箱体的结构形状特征反映出来，如图 10.2 所示球阀装配图中的阀体。对于轴套类零件一般按照，零件的主视图所选的零件摆放位置与零件的加工位置相一致。

(3) 对某些零件结构形状未表达清楚的处理。在装配图中，对于零件上某些不重要的局部结构，不能完全表达清楚；对于零件上的某些机械加工结构(如倒角、倒圆、退刀槽等)没有表达(国家标准规定绘制装配图时允许不画)。这些结构在拆画零件图时，应结合设计和加工工艺的要求，通过认真分析后补画出这些结构。如零件上某部分需要与某零件装配后一起加工，则应在零件图上标注。

(4) 拆画零件图的尺寸标注。装配图的尺寸标注不多，主要侧重表达装配体所需要的尺寸(如性能、规格、配合、总体尺寸等)，而零件图则需标注满足加工需要的所有尺寸(定形、定位、总体尺寸)。但是在设计时，装配图中各零件的结构大小都已经过设计考虑，并在画装配图时是按比例绘制的。因此根据装配图画零件图时，对于没标注尺寸的零件结构可以从装配图样上按比例直接量取尺寸绘图。其尺寸注法按零件图尺寸标注的要求。针对不同的零件尺寸标注应注意以下几个问题。

① 装配图中已注出的尺寸在相关的零件图上直接注出。对于配合、某些定位和特殊的规格的重要尺寸等应注出相应的配合代号，甚至如果需要还应注出偏差数值。

② 与标准件相连接或配合的有关尺寸，如销孔直径、螺纹的有关尺寸等，要从相应的标准中查阅后标注。

③ 某些零件在明细栏中给定了尺寸，如垫片厚度等，要按给定尺寸注写。

④ 根据装配图所给的数据需计算的尺寸，如齿轮的分度圆、齿顶圆直径等，要经过计算后注写。

⑤ 对于标准规定的机械加工结构，如倒角、退刀槽、沉孔等，要从相应的标准中查阅后标注。

(5) 零件表面结构的确定。零件表面结构是根据其作用和要求确定的。一般接触面与配合面表面结构参数值应较小，自由表面的表面结构参数值一般较大，但有密封、耐蚀、

美观等要求的表面结构参数值应较小，具体选择可参阅表 9-3 和表 9-7 选注。

(6) 关于零件图中的技术要求。技术要求在零件图中占重要地位，它直接影响零件的加工质量。但是正确制定技术要求，涉及很多专业知识，本书不作介绍。

10.7.3　拆画零件图举例

绘制零件图方法、步骤，在第 9 章已经介绍，在此主要介绍拆画零件图时应注意的几个问题。现以拆画泵体 3 零件图为例进行介绍。

(1) 确定零件图表达方案。如图 10.18 所示，由主视图可见：泵体 3 左端有泵套 21 插入并由三个螺钉 2 固定锁紧、上和下各有一单向阀；在右部前端有一衬盖 7 插入，并由四个螺钉 2 固定锁紧；后面在空腔内由前向后插入一衬套 10；根据主、俯视图再结合 *B—B*(零件 3)剖视图，可以分析出泵体 3 的右前端内腔的结构形状；由主、俯、左视图结合向视图 *A*(零件 3)可分析出后底面的结构形状。

拆画泵体 3 零件图时，要从装配图的各视图上分离出泵体的视图轮廓，由于装配图表达的是装配体的结构形状，必然存在零件间相互遮挡的情况(被遮挡的结构不画虚线)，泵体的一部分可见投影被其他零件所遮挡，因而主、俯、左三个视图均是不完整的图形，根据此零件的作用及装配关系可以补全所缺的轮廓线，如图 10.20 所示。

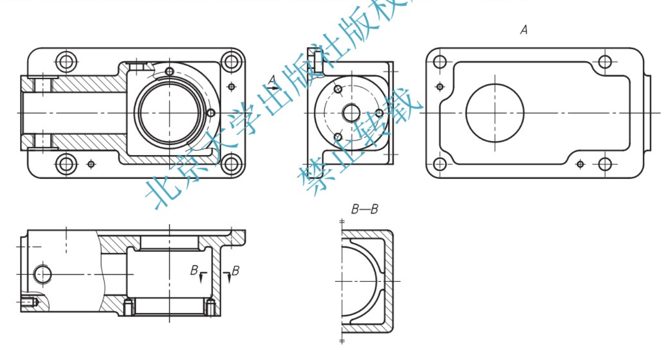


图 10.20　由卧式柱塞泵装配图分离并补全图线的泵体零件图

这样的箱体类零件一般用主、俯、左三个剖视图再结合向视图和断面图来表达，从装配图中拆画泵体的图形，显示了泵体各部分的结构形状，因此，装配图中所用表达法在零件图中继续使用，但是考虑到箱体零件的加工和习惯位置，需将零件各视图的投影方向进行调整，如图 10.21 所示。

(2) 标注尺寸。除一般尺寸可从装配图上直接量取和按装配图上已给出的尺寸标注外，对于以下尺寸需进行处理。

① 根据装配图给出的螺钉尺寸通过查阅国家标准确定螺钉孔的尺寸标注样式进行标注。

② 对于销孔、沉孔图形尺寸结合使用通过查阅国家标准确定各孔的尺寸标注样式进行标注。

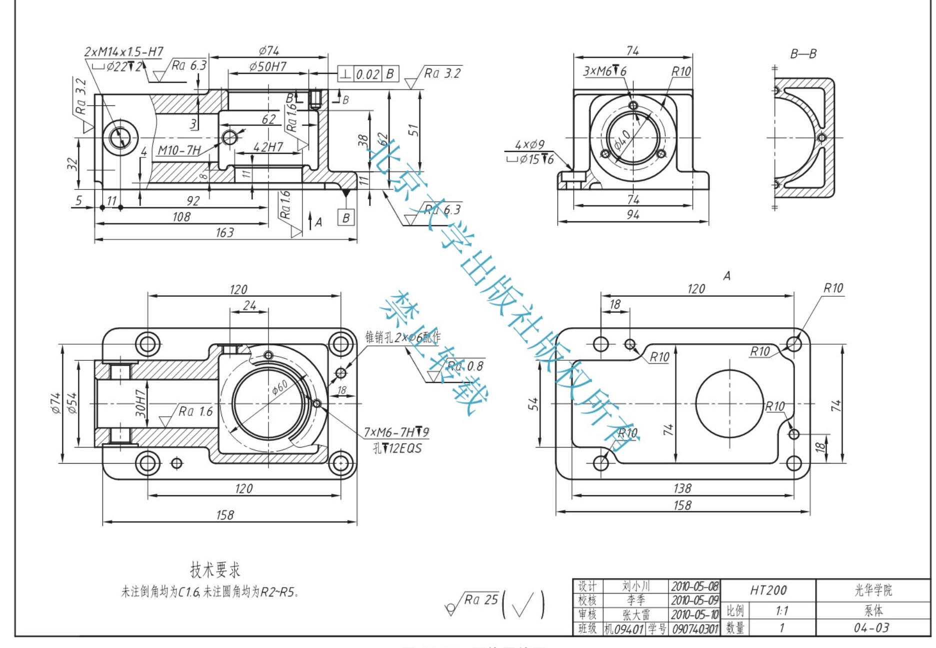

B—B
A
R10
74
18
120
138
158
54
3×M6↧6
4×Ø9
⌴Ø15↧6
Ø40
94
Ra 3.2
Ra 6.3
Ra 0.8
Ra 1.6
Ra 25
⊥ 0.02 B
51
62
38
11
Ø74
Ø50H7
42H7
M10-7H
2×M14×1.5-H7
⌴Ø22↧2
163
108
92
32
锥销孔2×Ø6配作
7×M6-7H↧9
孔↧12EQS
Ø60
24
30H7
Ø54
技术要求
未注倒角均为C1.6,未注圆角均为R2~R5。
设计 刘小川 2010-05-08
校核 李季 2010-05-09
审核 张大雷 2010-05-10
班级 机09401 学号 090740301
HT200
比例 1:1
数量 1
光华学院
泵体
04-03

图 10.21　泵体零件图

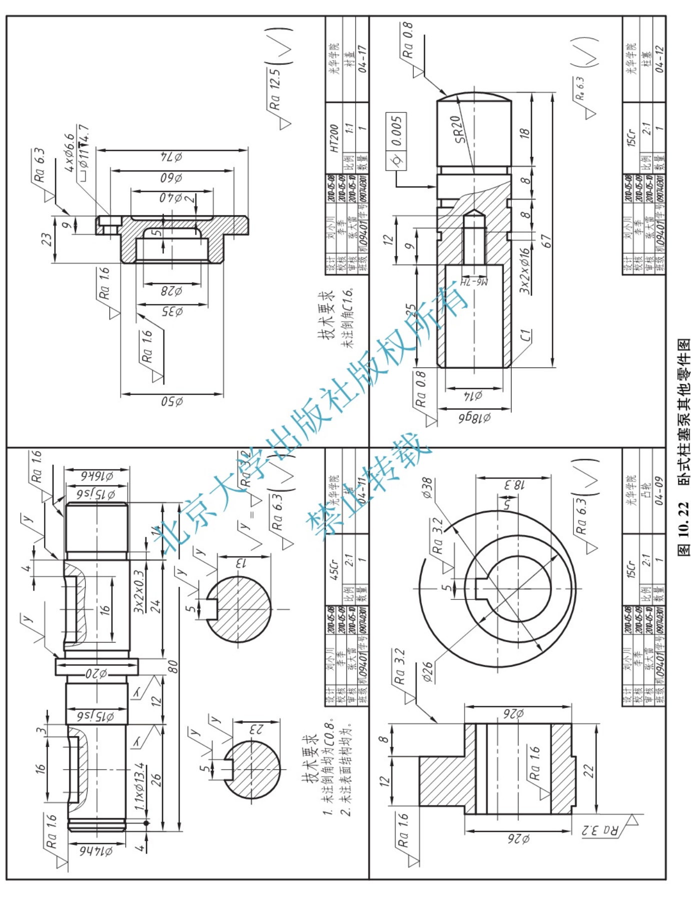


图 10.22　卧式柱塞泵其他零件图

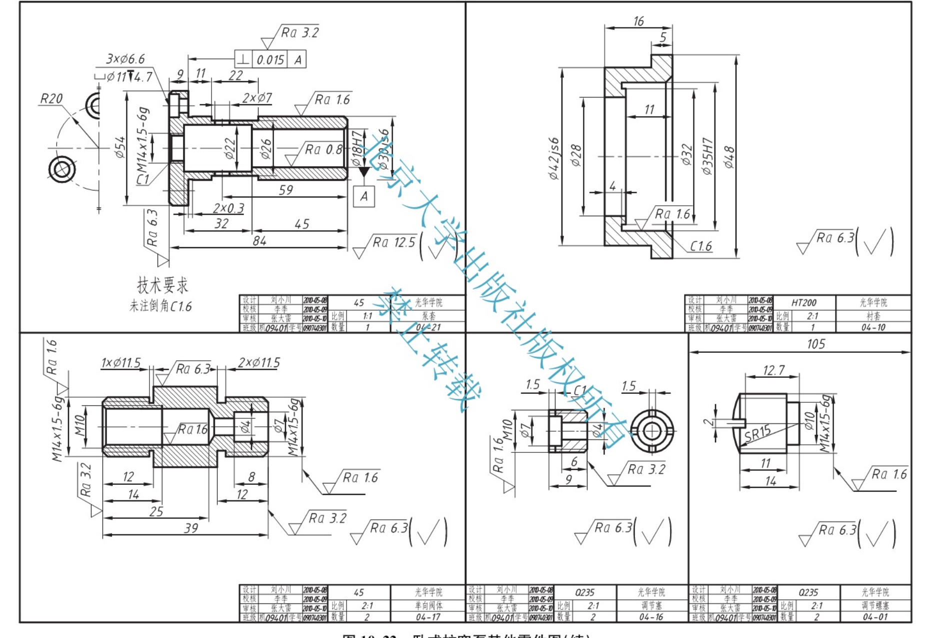


图 10.22　卧式柱塞泵其他零件图(续)

(3) 表面结构的标注。参考表 9－3 和表 9－7 中有关表面结构的加工方法、应用和标注示例，选定各加工表面的表面结构参数及标注形式。

(4) 技术要求。根据装配图所表达的机器或部件的工作情况，注出加工该零件所需技术要求。

图 10.21 所示的零件图能完整、清晰地表达泵体零件。图 10.22 给出了卧式柱塞泵的其他主要零件图。请读者自行分析、拆画。

复习思考题

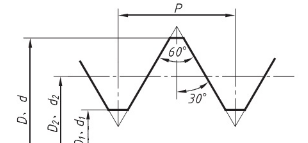
1. 装配图在生产中起什么作用？它应该包括哪些内容？
2. 装配图有哪些特殊表达法？
3. 在装配图中，一般应标注哪几类尺寸？
4. 试简述部件测绘的一般步骤。
5. 详述由装配图拆画零件图的步骤和方法。



附　　录

附录 1　螺　　纹

1. 普通螺纹（GB/T 193—2003、GB/T 196—2003）



标 记 示 例

公称直径 24mm，螺距为 1.5mm，右旋的细牙普通螺纹：M24×1.5

公称直径 24mm，螺距为 3mm，右旋的粗牙普通螺纹：M24

附表 1　直径与螺距系列、基本尺寸　　（单位：mm）

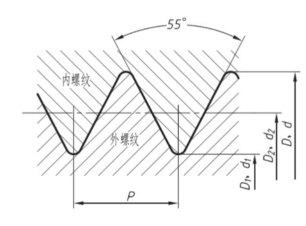
公称直径 D、d		螺距 P		粗牙小径 D_1、d_1	公称直径 D、d		螺距 P		粗牙小径 D_1、d_1
第一系列	第二系列	粗牙	细牙		第一系列	第二系列	粗牙	细牙	
3		0.5	0.35	2.459		22	2.5	2，1.5，1，(0.75)，(0.5)	19.294
	3.5	(0.6)		2.850	24		3	2，1.5，1，(0.75)	20.752
4		0.7	0.5	3.242		27	3	2，1.5，1，(0.75)	23.752
	4.5	(0.75)		3.688					
5		0.8		4.134	30		3.5	(3)，2，1.5，1，(0.75)	26.211
6		1	0.75，(0.5)	4.917		33	3.5	(3)，2，1.5，(1)，(0.75)	29.211
8		1.25	1，0.75，(0.5)	6.647	36		4	3，2，1.5，(1)	31.670
10		1.5	1.25，1，0.75，(0.5)	8.376		39	4		34.670
12		1.75	1.5，1.25，1，(0.75)，(0.5)	10.106	42		4.5	(4)，3，2，1.5，(1)	37.129
	14	2	1.5，(1.25)*，1，(0.75)，(0.5)	11.835		45	4.5		40.129
16		2	1.5，1，(0.75)，(0.5)	13.835	48		5		42.587
	18	2.5	2，1.5，1，(0.75)，(0.5)	15.294		52	5		46.587
20		2.5		17.294	56		5.5	4，3，2，1.5，(1)	50.046

注：1. 优先选用第一系列，括号内尺寸尽可能不用。
2. 公称直径 D、d 第三系列未列入。
3. * M14×1.25 仅用于火花塞。
4. 中径 D_2、d_2 未列入。

2. 管螺纹（GB/T 7307—2001）

55°密封管螺纹(圆柱内螺纹与圆锥外螺纹 GB/T 7306.1—2000；圆锥内螺纹与圆锥外螺纹 GB/T 7306.2—2000)

55°非密封管螺纹（GB/T 7307—2001）



标记示例

3/4 右旋圆柱内螺纹：$R_P 3/4$　1/2 右旋圆锥外螺纹：$R_1 1/2$

3/4 右旋圆锥内螺纹：$R_c 3/4$　1/2 右旋圆锥外螺纹：$R_2 1/2$

1/2 左旋内螺纹：G1/2-LH（右旋不标旋向）

1/2A 级外螺纹：G1/2A　1/2B 级内螺纹：G1/2B

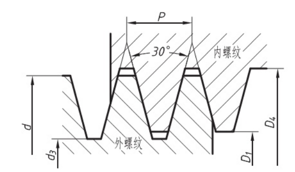
内外螺纹旋合：G$\frac{1}{2}$B/G$\frac{1}{2}$A

附表 2　非螺纹密封的管螺纹的基本尺寸　（单位：mm）

尺寸代号	每 25.4mm 内的牙数 n	螺距 P	牙高 h	基本直径或基准平面内的基本直径			基准距离（基本）	外螺纹的有效螺纹不小于
				大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$		
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566	4	6.5
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445	6	9.7
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950	6.4	10.1
1/2	14	1.841	1.162	20.955	19.793	18.631	8.2	13.2
5/8	14	1.841	1.162	22.911	21.749	20.587	8.2	14.5
3/4	14	1.841	1.162	26.441	25.279	24.117	9.5	14.5
7/8	14	1.841	1.162	30.201	29.039	27.877	10.4	16.8
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291	10.4	16.8
$1\frac{1}{8}$	11	2.309	1.479	37.897	36.418	34.939	12.7	19.1
$1\frac{1}{4}$	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952	12.7	19.1
$1\frac{1}{2}$	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845	12.7	19.1
$1\frac{3}{4}$	11	2.309	1.479	53.746	52.267	50.788	15.9	23.4
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656	15.9	23.4
$2\frac{1}{4}$	11	2.309	1.479	65.710	64.231	62.752	17.5	26.7
$2\frac{1}{2}$	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226	17.5	26.7
$2\frac{3}{4}$	11	2.309	1.479	81.534	80.055	78.576	20.6	29.8
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926	20.6	29.8
$3\frac{1}{2}$	11	2.309	1.479	100.330	98.851	97.372	20.6	35.8
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072	25.4	35.8

注：第五列中所列的是圆柱螺纹的基本直径和圆锥螺纹在基本平面内的基本直径；第六、七列只适用于圆锥螺纹。

3. 梯形螺纹(GB/T 5796.3—2005)



标记示例

公称直径 40mm，导程 14mm，螺距为 7mm 的双线左旋梯形螺纹：

Tr40×14 (P7) LH

附表 3　梯形螺纹直径与螺距系列、基本尺寸　　(单位：mm)

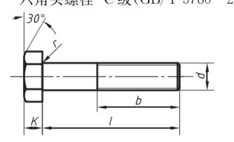
公称直径 d		螺距 P	大径 D_4	小径		公称直径 d		螺距 P	大径 D_4	小径	
第一系列	第二系列			d_3	D_1	第一系列	第二系列			d_3	D_1
16		2	16.50	13.50	14.00	24		3	24.50	20.50	21.00
		4		11.50	12.00			5		18.50	19.00
	18	2	18.50	15.50	16.00			8	25.00	15.00	16.00
		4		13.50	14.00		26	3	26.50	22.50	23.00
20		2	20.50	17.50	18.00			5		20.50	21.00
		4		15.50	16.00			8	27.00	17.00	18.00
	22	3	22.50	18.50	19.00	28		3	28.50	24.50	25.00
		5		16.50	17.00			5		22.50	23.00
		8	23.00	13.00	14.00			8	29.00	19.00	20.00

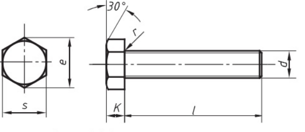
注：螺纹公差带代号外螺纹有 8e、7e，内螺纹有 8H、7H。

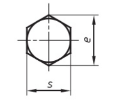
附录 2　标　准　件

1. 六角头螺栓

六角头螺栓-C 级(GB/T 5780—2000)　　六角头螺栓-全螺纹(GB/T 5783—2000)







标记示例

螺纹规格 d=M12、公称长度 l=80mm、性能等级为 8.8 级、表面氧化、A 级的六角螺栓：

螺栓 GB/T 5782　M12×80

附表 4　六角头螺栓各部分尺寸　　(单位：mm)

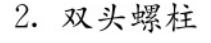
螺纹规格 d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36
s	5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55

（续）

螺纹规格 *d*		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36
k		2	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7	22.5
r		0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1	0.8	1	1	1
e	A	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75	30.14	33.53	37.72	39.98	—	—	—
	B	5.88	7.50	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	51.11
(b) GB/T 5782—2000	$l \leqslant 125$	12	14	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	—
	$125 < l \leqslant 200$	18	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84
	$l > 200$	31	33	35	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	79	85	97
l 范围（GB/T 5782—2000）		20~30	25~40	25~50	30~60	40~80	45~100	50~120	60~140	65~160	70~180	80~200	90~220	90~240	100~260	110~300	140~360
l 范围（GB/T 5783—2000）		6~30	8~40	10~50	12~60	16~80	20~100	25~120	30~140	30~150	35~150	40~150	45~150	50~150	55~200	60~200	70~200
l 系列		6，8，10，12，20，25，30，35，40，45，50，(55)，60，(65)，70，80，90，100，110，120，130，140，150，160，180，200，220，240，260，280，300，320，340，360，380，400，420，440，460，480，500															

注：1. 国家标准规定螺栓的螺纹规格 d=M1.6~M64。GB/T 5782—2000 的公称长度 l 为 10~500mm，GB/T 5783—2000 的 l 为 2~200mm。

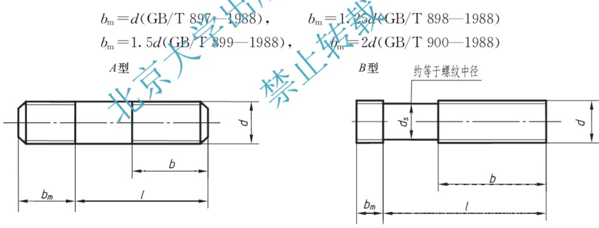
2. 材料为钢的螺栓性能等级有 5.6、8.8、9.8、10.9 级，其中 8.8 级较常用。8.8 级前面的数字 8 表示公称抗拉强度(σ_b，N/mm²)的 1/100，后面的数字 8 表示公称屈服点(σ_s，N/mm²)或公称规定非比例伸长应力($\sigma_{p0.2}$，N/mm²)与公称抗拉强度(σ_b)的比值(屈强比)的 10 倍。



2. 双头螺柱

$b_m = d$(GB/T 897—1988)，　$b_m = 1.25d$(GB/T 898—1988)

$b_m = 1.5d$(GB/T 899—1988)，　$b_m = 2d$(GB/T 900—1988)



标　记　示　例

两端均为粗牙普通螺纹、d=10mm，l=50mm、性能等级为 4.8 级、不经表面处理、$b_m = 1d$ 的 B 型双头螺柱：

螺柱 GB/T 897—1988　M10×50

旋入端为粗牙普通螺纹、紧固端为螺距 P=1mm 的细牙普通螺纹、d=10mm、l=50mm、性能等级为 4.8 级、不经表面处理、A 型、$b_m = 1.25d$ 的双头螺柱：螺柱 GB/T 898—1988　AM10－M10×1×50

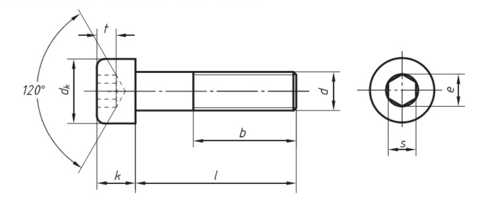
附表 5　双头螺柱各部分尺寸　　（单位：mm）

螺纹规格 *d*	b_m				$\frac{l}{b}$
	GB/T 897—1988	GB/T 898—1988	GB/T 899—1988	GB/T 900—1988	
M5	5	6	8	10	$\frac{16\sim20}{10}$、$\frac{25\sim50}{16}$

（续）

螺纹规格 d	b_m				$\frac{l}{b}$
	GB/T 897—1988	GB/T 898—1988	GB/T 899—1988	GB/T 900—1988	
M6	6	8	10	12	$\frac{20}{10}$、$\frac{25\sim30}{14}$、$\frac{35\sim70}{18}$
M8	8	10	12	16	$\frac{20}{12}$、$\frac{25\sim30}{16}$、$\frac{35\sim90}{22}$
M10	10	12	15	20	$\frac{25}{14}$、$\frac{30\sim35}{16}$、$\frac{40\sim120}{26}$、$\frac{130}{32}$
M12	12	15	18	24	$\frac{25\sim30}{16}$、$\frac{35\sim40}{20}$、$\frac{45\sim120}{30}$、$\frac{130\sim180}{36}$
M16	16	20	24	32	$\frac{30\sim35}{20}$、$\frac{40\sim55}{30}$、$\frac{60\sim120}{38}$、$\frac{130\sim200}{44}$
M20	20	25	30	40	$\frac{35\sim40}{25}$、$\frac{45\sim60}{35}$、$\frac{70\sim120}{46}$、$\frac{130\sim200}{52}$
M24	24	30	36	48	$\frac{45\sim50}{30}$、$\frac{60\sim75}{45}$、$\frac{80\sim120}{54}$、$\frac{130\sim200}{60}$
M30	30	38	45	60	$\frac{60\sim65}{40}$、$\frac{70\sim90}{50}$、$\frac{95\sim120}{66}$、$\frac{130\sim200}{72}$、$\frac{210\sim250}{85}$
M36	36	45	54	72	$\frac{65\sim75}{45}$、$\frac{80\sim110}{60}$、$\frac{120}{78}$、$\frac{130\sim200}{84}$、$\frac{210\sim300}{97}$
l 系列	16，20，25，30，35，40，45，50，55，60，65，70，75，80，85，90，95，100，110，120，130，140，150，160，170，180，190，200，210，220，230，240，250，260，280，300				

3. 内六角圆柱头螺钉（GB/T 70.1—2008）



标记示例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=20mm、性能等级为 8.8 级、表面氧化的内六角圆柱头螺钉：

螺钉 GB/T 70.1—2008 M5×20

附表 6 内六角圆柱头螺钉各部分尺寸 （单位：mm）

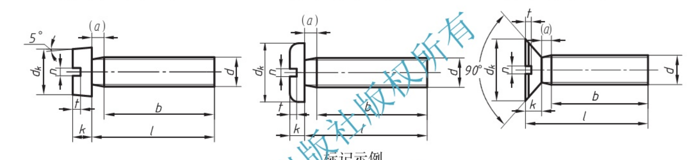
螺纹规格 d	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20	M24	M30	M36
d_k max	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16	18	21	24	30	36	45	54
k max	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36

（续）

螺纹规格 d	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20	M24	M30	M36
t min	1.1	1.3	2	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	15.5	19
r	0.1		0.2		0.25	0.4		0.6			0.8		1	
s	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	147	17	19	22	27
e	2.3	2.87	3.44	4.58	5.72	6.86	9.15	11.43	13.72	16	19.44	21.73	25.15	30.85
b(参考)	17	18	20	22	24	28	32	36	40	44	52	60	72	84
l 系列	2.5，3，4，5，6，8，10，12，(14)，(16)，20，25，30，35，40，45，50，(55)，60，(65)，70，80，90，100，110，120，130，140，150，160，180，200													

4. 开槽螺钉

开槽圆柱头螺钉(GB/T 65—2000)　开槽盘头螺钉(GB/T 67—2008)　开槽沉头螺钉(GB/T 68—2000)



标记示例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=20mm、性能等级为 4.8 级、不经过表面处理的开槽圆柱头螺钉：

螺钉 GB/T 65—2000 M5×20

附表 7　螺钉各部分尺寸　（单位：mm）

螺纹规格 d		M3	M4	M5	M6	M8	M10
a max		1	1.4	1.6	2	2.5	3
b min		25	38	38	38	38	38
n 公称		0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
GB/T 65—2000	d_k公称=max	5.5	7	8.5	10	13	16
	k 公称=max	2	2.6	3.3	3.9	5	6
	t min	0.85	1.1	1.3	1.6	2	2.4
	$\frac{l}{b}$	$\frac{4\sim30}{l-a}$	$\frac{5\sim40}{l-a}$	$\frac{6\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim50}{b}$	$\frac{8\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim60}{b}$	$\frac{10\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim80}{b}$	$\frac{12\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim80}{b}$
GB/T 67—2008	d_k公称=max	5.6	8	9.5	12	16	20
	k 公称=max	1.8	2.4	3	3.6	4.8	6
	t min	0.7	1	1.2	1.4	1.9	2.4
	$\frac{l}{b}$	$\frac{4\sim30}{l-a}$	$\frac{5\sim40}{l-a}$	$\frac{6\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim50}{b}$	$\frac{8\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim60}{b}$	$\frac{10\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim80}{b}$	$\frac{12\sim40}{l-a}$ $\frac{45\sim80}{b}$

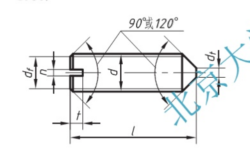
（续）

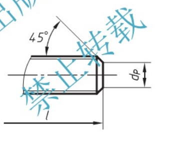
螺纹规格 d			M3	M4	M5	M6	M8	M10
GB/T 68—2000	d_k 公称=max		5.5	8.40	9.30	11.30	15.80	18.30
	k 公称=max		1.65	2.7	2.7	3.3	4.65	5
	t	max	0.85	1.3	1.4	1.6	2.3	2.6
		min	0.6	1	1.1	1.2	1.8	2
	$\frac{l}{b}$		$\frac{5\sim30}{l-(k+a)}$	$\frac{6\sim40}{l-(k+a)}$	$\frac{8\sim45}{l-(k+a)}$ $\frac{50}{b}$	$\frac{8\sim45}{l-(k+a)}$ $\frac{50\sim60}{b}$	$\frac{10\sim45}{l-(k+a)}$ $\frac{50\sim80}{b}$	$\frac{12\sim45}{l-(k+a)}$ $\frac{50\sim80}{b}$

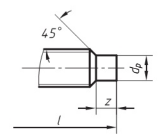
注：1. 标准规定螺纹规格 d=M1.6～M10。
2. 公称长度 l（系列）为：2，2.5，3，4，5，6，8，10，12，(14)，16，20，25，30，35，40，45，50，(55)，60，(65)，70，(75)，80 mm(GB/T 65—2000 的 l 长无 2.5mm，GB/T 68—2000 的 l 长无 2mm)，尽可能不采用括号内的数值。
3. 当表中 l/b 中的 $b=l-b$ 或 $b=l-(k+a)$时表示全螺纹。
4. 无螺纹部分杆径约等于中径或允许等于螺纹大径。
5. 材料为钢的螺钉性能等级有 4.8、5.8 级，其中 4.8 级较常用。

5. 紧定螺钉

锥端紧定螺钉(GB/T 71—1985)　平端紧定螺钉(GB/T 73—1985)　长圆柱端紧定螺钉(GB/T 75—1985)







标记示例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=12mm、性能等级为 14H 级、表面氧化的锥端紧定螺钉：

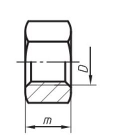
螺钉 GB/T 71—1985　M5×12

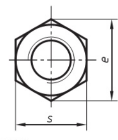
附表 8　紧定螺钉各部分尺寸　（单位：mm）

螺纹规格 d	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
$d_f \leqslant$	螺纹小径								
d_t	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	1.5	2	2.5	3
d_p	1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5
n	0.25	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2
t	0.84	0.95	1.05	1.42	1.63	2	2.5	3	3.6
z	1.25	1.5	1.75	2.25	2.75	3.25	4.3	5.3	6.3
l 系列	2，2.5，3，4，5，6，8，10，12，(14)，16，20，25，30，35，40，45，50，(55)，60								

6. 六角螺母

六角螺母- C 级(GB/T 41—2000)、1 型六角螺母(GB/T 6170—2000)、六角薄螺母(GB/T 6172.1—2000)





标记示例

螺纹规格 D=M12、性能等级为 5 级、不经表面处理、C 级的六角螺母：

螺母 GB/T 41—2000 M12

附表 9　六角螺母各部分尺寸　　(单位：mm)

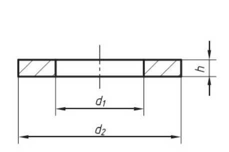
螺纹规格 D		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48
e min	GB/T 41—2000	—	—	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	60.79	71.3	82.6
	GB/T 6170—2000	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	60.75	71.3	82.6
	GB/T 6172.1—2000																		
s		5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75
m max	GB/T 41—2000	—	—	5.6	6.4	7.9	9.5	12.2	13.9	15.9	16.9	19	20.2	22.3	24.7	26.4	31.5	34.9	38.9
	GB/T 6170—2000	2.4	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	12.8	14.8	15.8	18	19.4	21.5	23.8	25.6	31	34	38
	GB/T 6172.1—2000	1.8	2.2	2.7	3.2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13.5	15	18	21	24

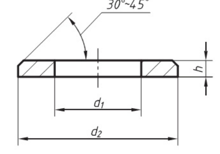
注：1. 不带括号的为优先系列。
　　2. A 级用于 $D\leqslant 16$ 的螺母；B 级用于 $D>16$ 的螺母。



7. 平垫圈

平垫圈- A 级(GB/T 97.1—2002)　　平垫圈 倒角型- A 级(GB/T 97.2—2002)





标记示例

公称尺寸 d=8mm、性能等级为 140HV 级、不经表面处理的平垫圈：

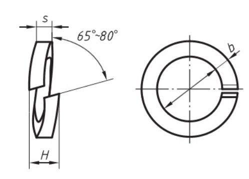
垫圈 GB/T 97.1—2002　8-140HV

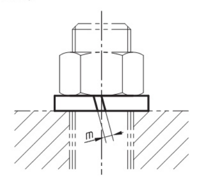
附表 10　平垫圈各部分尺寸　　(单位：mm)

规格(螺纹大径)	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30
内径 d_1	2.2	2.7	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	15	17	21	25	31
外径 d_2	5	6	7	9	10	12	16	20	24	28	30	37	44	56
厚度 h	0.3	0.5	0.5	0.8	1	1.6	1.6	2	2.5	2.5	3	3	4	4

8. 标准弹簧垫圈

标准弹簧垫圈（GB/T 93—1987）





标记示例

公称直径 16mm、材料为 65Mn、表面氧化的标准弹簧垫圈：

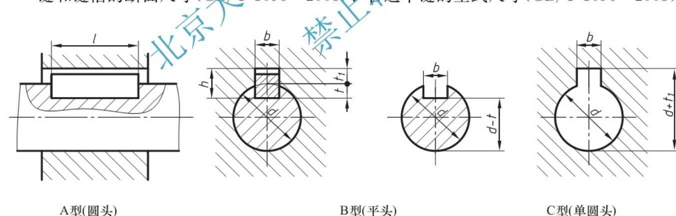
垫圈 GB/T 93—1987　16

附表 11　弹簧垫圈各部分尺寸　　（单位：mm）

规格(螺纹大径)	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30
d max	4.4	5.4	6.68	8.68	10.9	12.9	16.9	21.04	25.5	31.5
$s(b)$公称	1.1	1.3	1.6	2.1	2.6	3.1	4.1	5	6	7.5
H max	2.75	3.25	4	5.25	6.5	7.75	10.25	12.5	15	18.75
$m\leqslant$	0.55	0.65	0.8	1.05	1.3	1.55	2.05	2.5	3	3.75

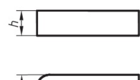
9. 键

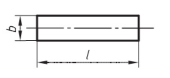
键和键槽的断面尺寸(GB/T 1095—2003)、普通平键的型式尺寸(GB/T 1096—2003)

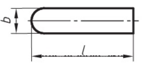


A型(圆头)　　B型(平头)　　C型(单圆头)









标记示例

圆头普通平键(A 型)、b=18mm、h=11mm、l=100mm：　键 18×100　GB/T 1096—2003

平头普通平键(B 型)、b=18mm、h=11mm、l=100mm：　键 B18×100　GB/T 1096—2003

单圆头普通平键(C 型)、b=18mm、h=11mm、l=100mm：　键 C18×100　GB/T 1096—2003

附表 12　键和键槽各部分尺寸　　　　(单位：mm)

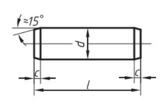
轴径	键		键槽						
			宽度 b					深度	
			偏差						
d	b(公称)	h	较松键连接		一般键连接		较紧键连接	轴 t	毂 t_1
			轴 H9	毂 D10	轴 N9	毂 JS9	轴和毂 P9		
自 6～8	2	2	+0.025 0	+0.060 +0.020	−0.004 −0.029	±0.0125	−0.006 −0.031	1.2	1
>8～10	3	3						1.8	1.4
>10～12	4	4	+0.030 0	+0.078 +0.030	0 −0.030	±0.015	−0.012 −0.042	2.5	1.8
>12～17	5	5						3.0	2.3
>17～22	6	6						3.5	2.8
>22～30	8	7	+0.036 0	+0.098 +0.040	0 −0.036	±0.018	−0.015 −0.051	4.0	3.3
>30～38	10	8						5.0	3.3
>38～44	12	8	+0.043 0	+0.120 +0.050	0 −0.043	±0.0215	−0.018 −0.061	5.0	3.3
>44～50	14	9						5.5	3.8
>50～58	16	10						6.0	4.3
>58～65	18	11						7.0	4.4
>65～75	20	12	+0.052 0	+0.149 +0.065	0 −0.052	±0.026	−0.022 −0.074	7.5	4.9
>75～85	22	14						9.0	5.4
>85～95	25	14						9.0	5.4
>95～110	28	16						10.0	6.4
>110～130	32	18	+0.062 0	+0.180 +0.080	0 −0.062	±0.031	−0.026 −0.088	11.0	7.4
>130～150	36	20						12.0	8.4
>150～170	40	22						13.0	9.4
>170～200	45	25						15.0	10.4
l 系列	8，10，12，16，18，20，22，25，28，32，36，40，45，50，56，63，70，80，90，100，110，125，140，160，180，200，250，280，320，360，400，450								

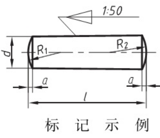
注：1. 在零件图中轴槽深用 $d-t$ 标注，轮槽用 $d+t_1$ 标注。键槽的极限偏差按 t(轴)和 t_1(毂)的极限偏差选取，但轴槽深($d-t$)的极限偏差值应取负号。

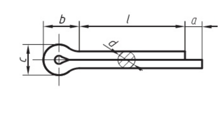
2. 键的材料常用 45 钢。

10. 销

圆柱销(GB/T 119.1—2000)　　圆锥销(GB/T 117—2000)　　开口销(GB/T 91—2000)







标　记　示　例

公称直径为 8mm、公差 m6、公称长度 l=30mm、材料为钢、不经淬火、不经表面处理的圆柱销：

销　GB/T 119.1—2000　8m6×30

附表 13　圆柱销与圆锥销各部分尺寸　　（单位：mm）

d	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
a≈	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.63	0.80	1.0	1.2	1.6
c≈	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.63	0.80	1.2	1.6	2	2.5
l 系列	2，3，4，5，6，8，10，12，14，16，18，20，22，24，26，28，30，32，35，40，45，50，55，60，65，70，75，80，85，90											

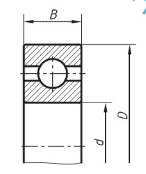
注：1. GB/T 119.1—2000 规定圆柱销的公称直径 *d*=0.6～50mm，公称长度 *l*=2～200mm，公差有 m6 和 h8。
2. 圆柱销的材料常用 35 钢。

附表 14　开口销各部分尺寸　　（单位：mm）

d（公称）		1	1.2	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	12
d max		0.9	1	1.4	1.8	2.3	2.9	3.7	4.6	5.9	7.5	9.5	11.5
c	max	1.8	2	2.8	3.6	4.6	5.8	7.4	9.2	11.8	15	19	24.8
	min	1.6	1.7	2.4	3.2	4	5.1	6.5	8	10.3	13.1	16.6	21.7
b≈		3	3	3.2	4	5	6.4	8	10	12.6	16	20	26
a max		1.6	2.5	4			3.2	4				6.3	
l 系列		2，3，4，5，6，8，10，12，14，16，18，20，22，24，26，28，30，32，35，40，45，50，55，60，65，70，75，80，85，90											

注：公称规格为销孔的公称直径。

11. 滚动轴承



深沟球轴承（GB/T 276—1994）

标记示例

类型代号 6、内圈孔径 *d*=60mm、尺寸系列代号为(0)2 的深沟球轴承：

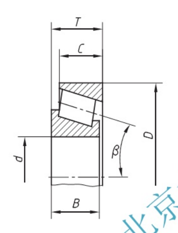
滚动轴承　GB/T 276—1994　6212

附表 15　深沟球轴承各部分尺寸　　（单位：mm）

轴承代号	尺寸 *d*	尺寸 *D*	尺寸 *B*	轴承代号	尺寸 *d*	尺寸 *D*	尺寸 *B*
尺寸系列代号　（1）0				尺寸系列代号　（0）3			
6000	10	26	8	6307	35	80	21
6001	12	28	8	6308	40	90	23
6002	15	32	9	6309	45	100	25
6003	17	35	10	6310	50	110	27

（续）

轴承代号	尺寸			轴承代号	尺寸		
	d	D	B		d	D	B
尺寸系列代号 (0)2				尺寸系列代号 (0)4			
6203	15	35	11	6408	40	110	27
6203	17	40	12	6409	45	120	29
6204	20	47	14	6410	50	130	31
6205	25	52	15	6411	55	140	33
6206	30	62	16	6412	60	150	35
6207	35	72	17	6413	65	160	37
6208	40	80	18	6414	70	180	42
6209	45	85	19	6415	75	190	45
6210	50	90	20	6416	80	200	48
6211	55	100	21	6417	85	210	52
6212	60	110	22	6418	90	225	54
6213	65	120	23	6419	95	240	55



圆锥滚子轴承（GB/T 297—1994）

标记示例

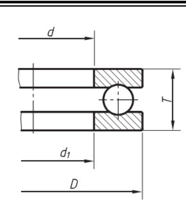
类型代号3、内圈孔径 d=35mm、尺寸系列代号为 02 的圆锥滚子轴承：

滚动轴承 GB/T 297—1994 30307

附表 16 圆锥滚子轴承各部分尺寸 （单位：mm）

轴承代号	尺寸				
	d	D	T	B	C
尺寸系列代号 02					
30207	35	72	18.25	17	15
30208	40	80	19.75	18	16
30209	45	85	20.75	19	17
30210	50	90	21.75	20	18
30211	55	100	22.75	21	19
30212	60	110	23.75	22	20
尺寸系列代号 03					
30307	35	80	22.75	21	18
30308	40	90	35.75	23	20
30309	45	100	27.75	25	22
30310	50	110	29.75	27	23
30311	55	120	31.5	29	25
30312	60	130	33.5	31	26
30313	65	140	36	33	28
30314	70	150	38	35	30

轴承代号	尺寸				
	d	D	T	B	C
尺寸系列代号 23					
32309	45	100	38.25	36	30
32310	50	110	42.25	40	33
32311	55	120	45.5	43	35
32312	60	130	48.5	46	37
32313	65	140	51	48	39
32314	70	150	54	51	42
尺寸系列代号 30					
33005	25	47	17	17	14
33006	30	55	20	20	16
33007	35	62	21	21	17
尺寸系列代号 31					
33108	40	75	26	26	20.5
33109	45	80	26	26	20.5
33110	50	85	26	26	20
33111	55	90	30	30	23



推力球轴承（GB/T 301—1995）

标记示例

类型代号 5 内圈孔径 d=30mm、尺寸系列代号为 13 的推力球轴承：

滚动轴承 51306 GB/T 301—1995

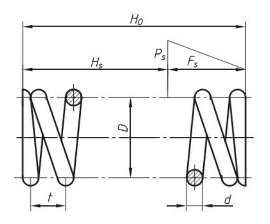
附表 17　推力球轴承各部分尺寸　　（单位：mm）

轴承代号	尺寸				轴承代号	尺寸			
	d	d_1	D	T		d	d_1	D	T
尺寸系列代号　11					尺寸系列代号　12				
51112	60	62	85	17	51214	70	72	105	27
51113	65	67	90	18	51215	75	77	110	27
51114	70	72	95	18	51216	80	82	115	28
尺寸系列代号　12					尺寸系列代号　13				
51204	20	22	40	14	51304	20	22	47	18
51205	25	27	47	15	51305	25	27	52	18
51206	30	32	52	16	51306	30	32	60	21
51207	35	37	62	18	51307	35	37	68	24
51208	40	42	68	19	51308	40	42	78	26
51209	45	47	73	20	尺寸系列代号　14				
51210	50	52	78	22	51405	25	27	60	24
51211	55	57	90	25	51406	30	32	70	28
51212	60	62	95	26	51407	35	37	80	32

12. 弹簧

圆柱螺旋压缩弹簧(GB/T 2089—2009)

A 型(两端圈并紧磨平)
B 型(两端圈并紧锻平)



标记示例

A 型、材料直径 d=6mm、弹簧中径 D=38mm、自由高度 H_0=60mm、材料为 C 级碳素弹簧钢丝、冷卷、表面涂漆处理的右旋圆柱螺旋压缩弹簧，其标记为：YA 6×38×60 GB/T 2089—2009

附表 18 圆柱螺旋压缩弹簧（YA、YB 型）尺寸及参数

线径 d/mm	弹簧中径 D/mm	节距≈ t/mm	自由高度 H_0/mm	有效圈数 n（圈）	试验负荷 P_s/N	试验负荷变形量 F_s/mm	展开长度 L/mm
0.6	4	1.54	20	12.5	18.7	11.7	182
1	4.5	1.67	20	10.5	72.7	7.04	177
1.2	8	2.92	40	12.5	68.6	21.4	364
1.6	12	4.41	60	6.5	105	35.1	547
2	16	5.72	42	6.5	144	24.3	427
	20	7.85	55	4.5	115	38	534
2.5	20	7.02	38	10.5	218	20.4	408
			80	5.5		47.5	785
	25	9.57	58	6.5	174	38.9	598
			70	5.5		45.9	668
4.5	32	10.5	65	5.5	740	32.9	754
			90	7.5		44.9	955
	50	19.1	80	3.5	474	51.2	864
			220	10.5		153	1964
6	38	11.9	60	4	368	23.5	714
			100	7.5		44.0	1134
	45	14.2	90	5.5	1155	45.2	1060
			120	7.5		61.7	1343
10	45	14.6	115	6.5	4919	29.5	1131
			130	7.5		34.1	1272
	50	15.6	80	4	4427	22.4	864
			150	8.5		47.6	1571
12	80	27.9	180	5.5	6274	87.4	1759
30	150	52.4	300	4.5	52281	101	2827

附录 3 极限与配合（摘自 GB/T 1800.2—2009）

1. 轴的极限偏差

附表 19 优先配合轴的极限偏差 （单位：μm）

基本尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
—	3	−60 −120	−20 −45	−6 −16	−2 −8	0 −6	0 −10	0 −25	0 −60	+6 0	+10 +4	+12 +6	+20 +14	+24 +18

（续）

基本尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
3	6	-70 -145	-30 -60	-10 -22	-4 -12	0 -8	0 -12	0 -30	0 -75	+9 +1	+16 +8	+20 +12	+27 +19	+31 +23
6	10	-80 -170	-40 -76	-13 -28	-5 -14	0 -9	0 -15	0 -36	0 -90	+10 +1	+19 +10	+24 +15	+32 +23	+37 +28
10	14	-95 -205	-50 -93	-16 -34	-6 -17	0 -11	0 -18	0 -43	0 -110	+12 +1	+23 +12	+29 +18	+39 +28	+44 +33
14	18													
18	24	-110 -240	-65 -117	-20 -41	-7 -20	0 -13	0 -21	0 -52	0 -130	+15 +2	+28 +15	+35 +22	+48 +35	+54 +41
24	30													+61 +48
30	40	-120 -280	-80 -142	-25 -50	-9 -25	0 -16	0 -25	0 -62	0 -160	+18 +2	+33 +17	+42 +26	+59 +43	+76 +60
40	50	-130 -290												+86 +70
50	65	-140 -330	-100 -174	-30 -60	-10 -29	0 -19	0 -30	0 -74	0 -190	+21 +2	+39 +20	+51 +32	+72 +53	+106 +87
65	80	-150 -340											+78 +59	+121 +102
80	100	-170 -390	-120 -207	-36 -71	-12 -34	0 -22	0 -35	0 -87	0 -220	+25 +3	+45 +23	+59 +37	+93 +71	+146 +124
100	120	-180 -400											+101 +79	+146 +144
120	140	-200 -450	-145 -245	-43 -83	-14 -39	0 -25	0 -40	0 -100	0 -250	+28 +3	+52 +27	+68 +43	+117 +92	+195 +170
140	160	-210 -460											+125 +100	+215 +210
160	180	-230 -480											+133 +108	+235 +210
180	200	-240 -530	-170 -285	-50 -96	-15 -44	0 -29	0 -46	0 -115	0 -290	+33 +4	+60 +31	+79 +50	+151 +122	+265 +236
200	225	-260 -550											+159 +130	+287 +257
225	250	-280 -570											+169 +140	+313 +284
250	280	-300 -620	-190 -320	-56 -108	-17 -49	0 -32	0 -52	0 -130	0 -320	+36 +4	+66 +34	+88 +56	+190 +158	+347 +315
280	315	-330 -650											+202 +170	+382 +350
315	355	-360 -720	-210 -350	-62 -119	-18 -54	0 -36	0 -57	0 -140	0 -360	+40 +4	+73 +37	+98 +62	+226 +190	+426 +390
355	400	-400 -760											+244 +208	+471 +435

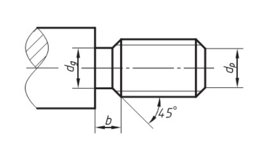
2. 孔的极限偏差

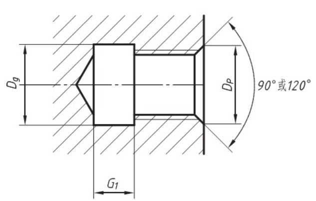
附表 20　优先配合孔的极限偏差　　　　(单位：μm)

基本尺寸/mm		公差带												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
—	3	+120 +60	+45 +20	+20 +6	+12 +2	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0	0 −10	−4 −14	−6 −16	−14 −24	−18 −28
3	6	+145 +70	+60 +30	+28 +10	+16 +4	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0	+3 −9	−4 −16	−8 −20	−15 −27	−19 −31
6	10	+170 +80	+76 +40	+35 +13	+20 +5	+15 0	+22 0	+36 0	+90 0	+5 −10	−4 −19	−9 −24	−17 −32	−22 −37
10	14	+205 +95	+93 +50	+43 +16	+27 +6	+18 0	+27 0	+43 0	+110 0	+6 −12	−5 −23	−11 −29	−21 −39	−26 −44
14	18													
18	24	+240 +110	+117 +65	+53 +20	+28 +7	+21 0	+33 0	+52 0	+130 0	+6 −15	−7 −28	−14 −35	−27 −48	−33 −54
24	30													−40 −61
30	40	+280 +120	+142 +80	+64 +25	+34 +9	+25 0	+39 0	+62 0	+160 0	+7 −18	−8 −33	−17 −42	−34 −59	−51 −76
40	50	+290 +130												−61 −86
50	65	+330 +140	+174 +100	+76 +30	+40 +10	+30 0	+46 0	+74 0	+190 0	+9 −21	−9 −39	−21 −51	−42 −72	−76 −106
65	80	+340 +150											−48 −78	−91 −121
80	100	+390 +170	+207 +120	+90 +36	+47 +12	+35 0	+54 0	+87 0	+220 0	+10 −25	−10 −45	−24 −59	−58 −93	−111 −146
100	120	+400 +180											−66 −101	−131 −166
120	140	+450 +200	+245 +145	+106 +43	+54 +14	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0	+12 −28	−12 −52	−28 −68	−77 −117	−155 −195
140	160	+460 +210											−85 −125	−175 −215
160	180	+480 +230											−93 −133	−195 −235
180	200	+530 +240	+285 +170	+122 +50	+61 +15	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0	+13 −33	−14 −60	−33 −79	−105 −151	−219 −265
200	225	+550 +260											−113 −159	−241 −287
225	250	+570 +280											−123 −169	−267 −313
250	280	+620 +300	+320 +190	+137 +56	+69 +17	+52 0	+81 0	+130 0	+320 0	+16 −36	−14 −66	−36 −88	−138 −190	−295 −347
280	315	+650 +330											−150 −202	−330 −382
315	355	+720 +360	+350 +210	+151 +62	+75 +18	+57 0	+89 0	+140 0	+360 0	+17 −40	−16 −73	−41 −98	−169 −226	−369 −426
355	400	+760 +360											−187 −244	−414 −471

附录 4　常见标准结构

1. 普通螺纹的退刀槽、倒角





附表 21　普通螺纹退刀槽尺寸（GB/T 3—1997）　　（单位：mm）

螺距	外螺纹			内螺纹		螺距	外螺纹			内螺纹	
	g_{2max}	g_{1max}	dg	G_1	Dg		g_{2max}	g_{1max}	dg	G_1	Dg
0.5	1.5	0.8	$d-0.8$	2	$D+0.3$	1.75	5.25	3	$d-2.6$	7	$D+0.5$
0.7	2.1	1.1	$d-1.1$	2.8		2	6	3.4	$d-3$	8	
0.8	2.4	1.3	$d-1.3$	3.2		2.5	7.5	4.4	$d-3.6$	10	
1	3	1.6	$d-1.6$	4	$D+0.5$	3	9	5.2	$d-4.4$	12	
1.25	3.75	2	$d-2$	5		3.5	10.5	6.2	$d-5$	14	
1.5	4.5	2.5	$d-2.3$	6		4	12	7	$d-5.7$	16	

2. 紧固件通孔及沉孔

附表 22　紧固件通孔及沉孔尺寸（GB/T 5277—1985、GB/T 152.2～GB/T 152.4—1988）

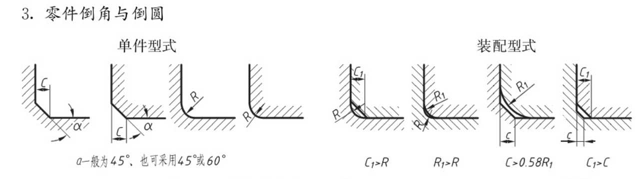
（单位：mm）

螺栓或螺钉直径 d			3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36
通孔直径 d_1（GB/T 5277—1985）	精装配		3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	15	17	21	25	31	37
	中等装配		3.4	4.5	5.5	6.6	9	11	13.5	15.5	17.5	22	26	33	39
	粗装配		3.6	4.8	5.8	7	10	12	14.5	16.5	18.5	24	28	35	42
六角头螺栓和六角螺母用沉孔（GB/T 152.4—1988）		d_2	9	10	11	13	18	22	26	30	33	40	48	61	71
		t	只要能制出与通孔轴线垂直的圆平面即可												

（续）

螺栓或螺钉直径 d			3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36
沉头用沉孔（GB/T 152.2—1988）	90°, d_2, d, d_1	d_2	6.4	9.6	10.6	12.8	17.6	20.3	24.4	28.4	32.4	40.4	—	—	—
开槽圆柱头用圆柱头沉孔（GB/T 152.3—1988）	d_2, t, d, d_1	d_2	6	8	10	11	15	18	20	24	26	33	40	48	57
		t	—	3.2	4	4.7	6	7	8	9	10.5	12.5	—	—	—
内六角圆柱头用圆柱头沉孔（GB/T 152.3—1988）	d_2, t, d, d_1	d_2	6	8	10	11	15	18	20	24	26	33	40	48	57
		t	3.4	4.6	5.7	6.8	9	11	13	15	17.5	21.5	25.5	32	38

3. 零件倒角与倒圆



附表 23　零件倒角与倒圆尺寸（GB/T 6403.4—2008）（单位：mm）

d、D	~3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180
C、R	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5	3.0
d、D	>180~250	>250~320	>320~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600
C、R	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25

4. 砂轮越程槽

附表 24　砂轮越程槽尺寸（GB/T 6403.5—2008）　　（单位：mm）

磨外圆　　磨内圆

d	~10			>10~50		>50~100		>100	
b_1	0.6	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10
b_2	2.0	3.0		4.0		5.0		8.0	10
h	0.1	0.2		0.3	0.4		0.6	0.8	1.2
r	0.2	0.5		0.8	1.0		1.6	2.0	3.0

注：1. 越程槽内二直线相交处不允许产生尖角。
2. 越程槽深度 h 与圆弧半径 r 要满足 $r \leqslant 3h$。
3. 磨削具有数个直径的工件时，可使用同一规格的越程槽。

附录 5　常用材料及热处理

1. 铸铁

灰铸铁(GB/T 9439—2010)、球墨铸铁(GB/T 1348—2009)、可锻铸铁(GB/T 9440—2010)。

附表 25　常 用 铸 铁

名　称	牌　号	应用举例	说　明
灰铸铁	HT100 HT150	用于低强度铸件，如盖、手轮、支架等 用于中度铸件，如底座、刀架、轴承座、胶带轮盖等	“HT”表示灰铸铁，后面的数字表示抗拉强度值(N/mm²)
	HT200 HT250	用于高强度铸件，如床身、机座、齿轮、凸轮、气缸泵体、联轴器等	
	HT300 HT350	用于高强度耐磨铸件，如齿轮、凸轮、重载荷床身、高压泵、阀壳体、锻模、冷冲压模等	
球墨铸铁	QT800—2 QT700—2 QT600—2	具有较高强度，但塑性低，用于曲轴、凸轮轴、齿轮、气缸、缸套、轧辊、水泵轴、活塞环、摩擦片等零件	“QT”表示球墨铸铁，其后第一组数字表示抗拉强度值(N/mm²)，第二组数字表示延伸率(%)
	QT500—5 QT420—10 QT400—17	具有较高的塑性和适当的强度，用于承受冲击负荷的零件	

（续）

名　称	牌　号	应用举例	说　明
可锻铸铁	KTH300—06 KTH330—08* KTH350—10 KTH370—12*	黑心可锻铸铁，用于承受冲击振动的零件，如汽车、拖拉机、农机铸件等	“KT”表示可锻铸铁，“H”表示黑心，“B”表示白心，第一组数字表示抗拉强度值（N/mm^2），第二组数字表示延伸率（%）。KTH300－06 适用于气密性零件。有*者为推荐牌号
	KTB350—04 KTB380—12 KTB400—05 KTB450—07	白心可锻铸铁，韧性较低，但强度高，耐磨性、加工性好，可代替低、中碳钢及低合金钢的重要零件，如曲轴、连杆、机床附件等	

2. 钢

普通碳素结构钢(GB/T 700—2006)、优质碳素结构钢(GB/T 699—1999)、合金结构钢(GB/T 3077—1999)、碳素工具钢(GB/T 1298—1986)、一般工程用铸造碳钢(GB/T 11352—2009)。

附表 26　常　用　钢

名称	牌　号	应用举例	说　明
普通碳素结构钢	Q215 A 级 B 级	金属结构件、拉杆、套圈、铆钉、螺栓、短轴、心轴、凸轮(载荷不大的)、垫圈；渗碳零件及焊接件	“Q”为普通碳素结构钢屈服点“屈”字的汉字拼音首位字母，后面数字表示屈服点数值。如 Q235 表示普通碳素结构钢，屈服点新旧牌号对照： Q215—A2(A2F) Q235—A3 Q275—A5
	Q235 A 级 B 级 C 级 D 级	金属结构件，心部强度要求不高的渗碳或氰化零件，吊钩、拉杆、套圈、汽缸、齿轮、螺栓、螺母、连杆、轮轴、楔、盖及焊接件	
	Q275	轴、轴销、制动杆、螺母、螺栓、垫圈、连杆、齿轮以及其他强度较高的零件	
优质碳素结构钢	08F	可塑性要求高的零件，如管子、垫圈、渗碳件、氰化件等	牌号的两位数字表示平均含碳量，称碳的质量分数。45 钢即表示碳的质量分数为 0.45%，表示平均含碳量为 0.45%。 碳的质量分数≤0.25%的碳钢，属低碳钢(渗碳钢)； 碳的质量分数在 0.25%～0.6%之间的碳钢，属中碳钢(调质钢)；
	10	拉杆、卡头、垫圈、焊件	
	15	渗碳件、紧固件、冲模锻件、化工储器	
	20	杠杆、轴套、钩、螺钉、渗碳件与氰化件	
	25	轴、辊子、连接器，紧固件中的螺栓、螺母	
	30	曲轴、转轴、轴销、连杆、横梁、星轮	
	35	曲轴、摇杆、拉杆、键、销、螺栓	
	40	齿轮、齿条、链轮、凸轮、轧辊、曲柄轴	
	45	齿轮、轴、联轴器、衬套、活塞销、链轮	

（续）

名称	牌　　号	应 用 举 例	说　　明
优质碳素结构钢	50	活塞杆、轮轴、齿轮、不重要的弹簧	碳的质量分数≥0.6%的碳钢，属高碳钢；在牌号后加符号“F”表示沸腾钢
	55	齿轮、连杆、扁弹簧、轧辊、偏心轮、轮圈、轮缘	
	60	偏心轮、弹簧圈、垫圈、调整片、偏心轴等	
	65	叶片弹簧、螺旋弹簧	
	15Mn	活塞销、凸轮轴、拉杆、铰链、焊管、钢板	锰的质量分数较高的钢，须加注化学元素符号“Mn”
	45Mn	万向联轴器、分配轴、曲轴、高强度螺栓、螺母	
	65Mn	弹簧、发条、弹簧环、弹簧垫圈等	
铬钢	15Cr	渗碳齿轮、凸轮、活塞销、离合器	钢中加入一定量的合金元素，提高了钢的力学性能和耐磨性，也提高了钢在热处理时的淬透性，保证金属在较大截面上获得好的力学性能。铬钢、铬锰钢和铬锰钛钢都是常用的合金结构钢(GB/T 3077—1999)
	20Cr	较重要的渗碳件	
	30Cr	重要的调质零件，如轮轴、齿轮、摇杆、螺栓等	
	40Cr	较重要的调质零件，如齿轮，进气阀、辊子、轴等	
	45Cr	强度及耐磨性高的轴、齿轮、螺栓等	
	50Cr	重要的轴、齿轮、螺旋弹簧、止推环	
	20CrMn	轴、齿轮、连杆、曲柄轴及其他高耐磨零件	
	40CrMn	轴、齿轮	

3. 常用热处理工艺

附表 27　常用热处理工艺

名　　词	代　　号	说　　明	应　　用
退火	5111	将钢件加热到临界温度以上(一般是710～715℃，个别合金钢800～900℃)30～50℃，保温一段时间，然后缓慢冷却(一般在炉中冷却)	用来消除铸、锻、焊零件的内应力，降低硬度，便于切削加工，细化金属晶粒，改善组织，增加韧性
正火	5121	将钢件加热到临界温度以上，保温一段时间，然后用空气冷却，冷却速度比退火为快	用来处理低碳和中碳结构钢及渗碳零件，使其组织细化，增加强度与韧性，减少内应力，改善切削性能
淬火	5131	将钢件加热到临界温度以上，保温一段时间，然后在水、盐水或油中(个别材料在空气中)急速冷却，使其得到高硬度	用来提高钢的硬度和强度极限。但淬火会引起内应力使钢变脆，所以淬火后必须回火
淬火和回火	5141	回火是将淬硬的钢件加热到临界点以上的温度，保温一段时间，然后在空气中或油中冷却下来	用来消除淬火后的脆性和内应力，提高钢的塑性和冲击韧性

（续）

名　词	代　号	说　明	应　用
调质	5151	淬火后在450～650℃进行高温回火，称为调质	用来使钢获得高的韧性和足够的强度。重要的齿轮、轴及丝杆等零件是调质处理的
表面淬火和回火	5210	用火焰或高频电流将零件表面迅速加热至临界温度以上，急速冷却	使零件表面获得高强度，而心部保持一定的韧性，使零件既耐磨又能承受冲击。表面淬火常用来处理齿轮等
渗碳	5310	在渗碳剂中将钢件加热到900～950℃，停留一定时间，将碳渗入钢表面，深度为0.5～2mm，再淬火后回火	增加钢件的耐磨性能、表面硬度、抗拉强度和疲劳极限。适用于低碳、中碳（碳含量＜0.40%）结构钢的中小型零件
渗氮	5330	渗氮是在500～600℃通入氨的炉子内加热，向钢的表面渗入氮原子的过程。氮化层为0.025～0.8mm，氮化时间需40～50h	增加钢件的耐磨性能、表面硬度、疲劳极限和抗蚀能力。适用于合金钢、碳钢、铸铁件，如机床主轴、丝杆以及在潮湿碱水和燃烧气体介质的环境中工作的零件
氰化	Q59(氰化淬火后，回火至56～62HRC)	在820～860℃炉内通入碳和氮，保温1～2h，使钢件的表面同时渗入碳、氮原子，可得到0.2～0.5mm的氰化层	增加表面硬度、耐磨性、疲劳强度和耐蚀性。用于要求硬度高，耐磨的中、小型及薄片零件和道具等
时效	时效处理	低温回火后，精加工之前，加热到100～160℃，保持10～40h。对铸件也可用于天然时效(放在露天中一年以上)	使工件消除内应力和稳定形状。 用于量具、精密丝杆、床身导轨、床身等
发蓝发黑	发蓝或发黑	将金属零件放在很浓的碱和氧化剂溶液中加热氧化，使金属表面形成一层氧化铁所组成的保护性薄膜	防腐蚀、美观。 用于一般连续的标准件和其他电子类零件